



TUGAS AKHIR - EE 184801

**ANALISIS PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP TEGANGAN
TEMBUS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DENGAN
PERUBAHAN VARIABEL TEMPERATUR MINYAK**

Refky Tri Saputra
NRP 07111540000060

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



FINAL PROJECT - EE 184801

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CONTAMINANT ON THE
BREAKDOWN VOLTAGE OF TRANSFORMER OIL INSULATION
WITH CHANGES IN VARIABLE TEMPERATURE OIL**

Refky Tri Saputra
NRP 07111540000060

Advisor
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

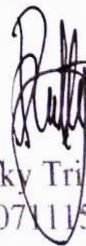
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisis Pengaruh Kontaminan Terhadap Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator Dengan Perubahan Variabel Temperatur Minyak”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 10 Januari 2019



Refky Tri Saputra
NRP 07111540000060

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALISIS PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP
TEGANGAN TEMBUS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR
DENGAN PERUBAHAN VARIABEL TEMPERATUR MINYAK**

TUGAS AKHIR

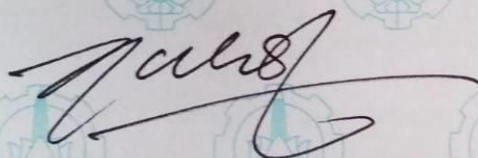
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
NIP. 197007121998021001



Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP. 198909252014041002



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALISIS PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DENGAN PERUBAHAN VARIABEL TEMPERATUR MINYAK

Nama : Refky Tri Saputra
Pembimbing : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penggunaan minyak isolasi transformator dalam jangka waktu yang lama dan dengan temperatur yang berubah-ubah dapat menimbulkan kontaminan yang mempengaruhi kinerja transformator tersebut. Kontaminan yang terdapat pada transformator jika dibiarkan akan mempengaruhi performa serta mempercepat umur sebuah transformator. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak isolasi dengan perubahan temperatur minyak berdasarkan standar uji IEC 156 yang menggunakan dua elektroda setengah bola dengan jarak sela 2,5 mm. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa ukuran kontaminan yang berupa kertas isolasi memiliki pengaruh terhadap tegangan tembus minyak isolasi. Semakin kecil ukuran kontaminan maka semakin mudah tertarik medan magnet yang terdapat pada elektroda sehingga menyebabkan terjadinya tegangan tembus. Selain itu, perubahan temperatur juga memiliki pengaruh terhadap besarnya tegangan tembus minyak karena setelah dilakukan pemanasan maka kadar air pada minyak akan berkurang sehingga menyebabkan nilai tegangan tembus pada minyak semakin besar.

Kata Kunci : kontaminan, minyak isolasi, tegangan tembus, temperatur

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CONTAMINANT ON THE
BREAKDOWN VOLTAGE OF TRANSFORMER OIL INSULATION
WITH CHANGES IN VARIABLE TEMPERATURE OIL**

Name : Refky Tri Saputra

**Advisor : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.**

ABSTRACT

The use of transformer insulating oil for a long time and with varying temperatures can cause contaminants that affect the performance of the transformer. The contaminants contained in the transformer if left unchecked will affect performance and accelerate the life of a transformer. Therefore, a study was conducted to determine the effect of contaminants on the breakdown of insulating oil with changes in oil temperature based on the IEC 156 standard which uses two half-ball electrodes with a gap of 2,5mm. From the test results it was found that the size of contaminants in the form of insulation paper had an influence on the breakdown of the insulating oil. The smaller the size of the contaminant, the easier it is to be attracted to the magnetic field contained in the electrode, causing breakdown voltage. In addition, changes in temperature also have an influence on the magnitude of the breakdown oil pressure because after heating, the water content in the oil will decrease so that the value of the breakdown voltage in the oil will increase.

Keywords : contaminants, insulating oil, breakdown voltage, temperature

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Kontaminan Terhadap Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator Dengan Perubahan Variabel Temperatur Minyak”** dengan tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang Tua penulis yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulisan Tugas Akhir ini bisa selesai.
2. Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
3. Bapak Daniar Fahmi, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
4. Seluruh Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Keluarga besar Fakultas Teknologi Elektro angkatan 2015 yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan sehingga perlu mengalami penyempurnaan, maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 10 Januari 2019
Penulis

Refky Tri Saputra
NRP 0711154000060

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Metodologi Penelitian.....	2
1.3 Sistematika Laporan	3
1.4 Relevansi	3
 BAB II TEORI DASAR DAN KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Transformator.....	5
2.1.1 Kumparan Transformator.....	6
2.1.2 Inti Besi	6
2.1.3 Tap Changer	7
2.1.4 Bushing	7
2.2 Isolasi Transformator.....	7
2.2.1 Isolator Udara	7
2.2.2 Isolator Padat	8
2.2.3 Isolator Cair	9
2.3 Dielektrik	13
 BAB III METODE PENGUJIAN	
3.1 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus.....	17
3.2 Persiapan Alat dan Bahan Uji	18
3.3.1 Alat Uji.....	19
3.3.2 Bahan Uji.....	27
3.3 Pengondisian Baham Uji.....	28
3.4 Pengujian Tegangan Tembus dan Arus Bocor.....	29
3.5 Pengumpulan Data Pengujian	31
3.6 Analisis dan Evaluasi Data.....	31

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1	Data Hasil Pengujian Minyak Murni	33
4.2	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 4mm x 4mm	38
4.3	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 4mm x 2mm	42
4.4	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 2mm x 2mm	47
4.5	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 2mm x 1mm	52
4.6	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 1mm x 1mm	57
4.7	Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas Ditumbuk	62
4.8	Analisis Perbandingan Data Hasil Pengujian	67

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74

DAFTAR PUSTAKA	75
-----------------------------	----

LAMPIRAN	77
-----------------------	----

RIWAYAT HIDUP PENULIS	81
------------------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian Transformator Ideal	6
Gambar 2.2	Penggunaan isolator padat pada transformator	9
Gambar 2.3	Kertas <i>kraft</i> (<i>diamond dotted paper</i>)	9
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus	17
Gambar 3.2	(a) Perangkat Pengujian Tegangan Tembus (b) Perangkat Pengujian Arus Bocor	19
Gambar 3.3	Gelas Ukur AGC IWAKI CTE33	20
Gambar 3.4	Oven Listrik Maspion TOASTER MOT-600	21
Gambar 3.5	Termometer Infra Merah	22
Gambar 3.6	Kotak Pengujian	23
Gambar 3.7	Osiloskop GW Instek GDS-3254	24
Gambar 3.8	Kotak Resistor	24
Gambar 3.9	(a) Modul Pembangkitan DC (b) <i>Control Box</i> (c) Regulator Tegangan (d) Transformator <i>step up</i>	26
Gambar 3.10	(a) Modul Pengujian (b) Elektroda	27
Gambar 3.11	Minyak Shell Diala B S2 ZU-I	27
Gambar 3.12	Kertas <i>kraft</i> (<i>diamond dotted paper</i>)	28
Gambar 3.13	(a) Proses pengukuran temperatur fase pertama (b) Proses pengukuran temperatur fase kedua (c) Proses pengukuran temperatur fase ketiga	30
Gambar 4.1	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak Murni .	35
Gambar 4.2	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak murni fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak murni fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak murni fase ketiga	36
Gambar 4.3	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas 4mm x 4mm	39
Gambar 4.4	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm fase ketiga ...	41
Gambar 4.5	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas 4mm x 2mm	44

Gambar 4.6	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm fase ketiga ...	46
Gambar 4.7	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas 2mm x 2mm	49
Gambar 4.8	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm fase ketiga ...	51
Gambar 4.9	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas 2mm x 1mm	54
Gambar 4.10	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm fase ketiga ...	56
Gambar 4.11	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas 1mm x 1mm	59
Gambar 4.12	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm fase ketiga ...	61
Gambar 4.13	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan kertas ditumbuk	64
Gambar 4.14	(a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ditumbuk fase pertama (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ditumbuk fase kedua (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ditumbuk fase ketiga.....	66
Gambar 4.15	Grafik Nilai Rata-Rata Sampel Uji	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Pengondisian Bahan Uji	28
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Murni	33
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas 4mm x 4mm	38
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas 4mm x 2mm	43
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas 2mm x 2mm	48
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas 2mm x 1mm	53
Tabel 4.6	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas 1mm x 1mm	58
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak dengan Kontaminan Kertas Ditumbuk	63
Tabel 4.8	Nilai Rata-Rata Sampel Uji	68

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu peralatan tegangan tinggi yang memiliki peran penting dalam sistem tenaga listrik[1]. Untuk menjaga kualitas serta umur transformator maka diperlukan perawatan yang mengatasi permasalahan-permasalahan dalam pengoperasiannya. Adapun permasalahan terpenting yang terdapat dalam transformator adalah isolasi. Penggunaan media isolasi pada transformator merupakan bagian penting untuk memisahkan dua atau lebih elektroda bertegangan agar tidak terjadi loncatan api dari elektroda-elektroda bertegangan tersebut[2]. Terdapat beberapa jenis media isolasi yang digunakan dalam transformator, salah satunya adalah isolasi cair. Jenis isolasi cair yang sering digunakan adalah isolasi minyak atau sering disebut minyak trafo. Minyak trafo digunakan sebagai media isolasi karena memiliki kegunaan sebagai pendingin dan mampu menghantarkan panas dengan baik[3].

Minyak isolasi yang digunakan pada transformator dibagi menjadi 3 jenis, yaitu minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintesis. Penggunaan minyak isolasi transformator dalam waktu yang lama akan menimbulkan endapan yang dapat mempengaruhi kinerja transformator. Endapan yang terdapat pada minyak isolasi menyebabkan minyak tersebut terkontaminasi karena sudah tercampur dengan sesuatu yang bukan bagian dari minyak tersebut. Kontaminan pada minyak isolasi merupakan endapan yang berasal dari potongan kertas isolasi trafo yang membungkus belitan trafo. Minyak isolasi yang mengandung kontaminan masih sering digunakan dalam pengoperasian transformator dengan temperatur yang berbeda mulai dari awal dioperasikan hingga transformator dimatikan. Hal itu dilakukan dengan tujuan untuk meminimalisir biaya perawatan dan pemeliharaan transformator. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan membahas pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak isolasi dengan variabel perubahan temperatur minyak.

Pada penelitian ini menggunakan minyak isolasi transformator jenis mineral dengan volume yang sama pada setiap sampel ujinya. Setiap sampel uji nantinya akan dilakukan pengujian dengan tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi awal, kemudian dipanaskan hingga mencapai

temperatur 70°C, setelah itu didiamkan selama 2 hari. Pada pengujian tegangan tembus ini hanya menggunakan elektroda jenis setengah bola dengan diameter 30mm dan jarak sela bola 2,5mm yang mengacu pada standar IEC 156. Sedangkan kontaminan yang digunakan berupa kertas isolasi transformator dengan jenis kertas *kraft* yang memiliki ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong kecil-kecil dengan ukuran yang bervariasi, yaitu 4mm x 4mm, 4mm x 2mm, 2mm x 2mm, 2mm x 1mm, 1mm x 1mm, kemudian kertas isolasi yang ditumbuk menjadi halus. Perlakuan yang berbeda-beda pada penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus isolasi minyak transformator serta pengaruh temperatur terhadap tegangan tembus masing-masing minyak dengan variabel kontaminan yang bervariasi.

1.2 Metodologi Penelitian

Metodologi untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah dengan melakukan pengujian tegangan tembus menggunakan minyak isolasi trafo dengan jenis minyak mineral yang telah terkontaminasi. Kontaminasi dari pengujian ini merupakan isolasi kertas trafo yang dipotong dengan 5 macam ukuran, yaitu 4mm x 4mm, 4mm x 2mm, 2mm x 2mm, 2mm x 1mm, 1mm x 1mm. Pengujian pada tugas akhir ini mengacu pada standar IEC 156 yaitu dengan menggunakan jenis elektroda setengah bola dengan jarak sela elektroda 2,5mm. Volume minyak yang digunakan pada saat pengujian sama, yaitu 1 Liter.

Pengujian tegangan tembus dilakukan pada minyak isolasi trafo yang telah terkontaminasi dengan variasi perubahan temperatur yaitu pada saat kondisi awal minyak digunakan, kemudian temperaturnya dinaikkan menjadi 70°, yang terakhir adalah minyak dibiarkan dalam ruangan selama 2 x 24jam sehingga temperaturnya menurun sesuai dengan yang ada pada ruang tersebut. Pada masing-masing tahap pengujian dilakukan pengambilan data sebanyak lima kali kemudian dianalisis. Dari data yang didapat maka dapat diketahui pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak yang disertai perubahan temperatur minyak.

1.3 Sistematika Laporan

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Latar belakang, permasalahan serta tujuan dilakukannya penelitian pada Tugas Akhir ini dijabarkan pada Bab ini.

Bab II Teori Dasar dan Kajian Pustaka

Pada Bab Teori Dasar dan Kajian Pustaka berisikan tentang penjelasan teori-teori yang sudah ada dan berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir ini, serta Kajian Pustaka yang berisikan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Bab III Metode Pengujian

Berisi tentang penjelasan metode yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus pada masing-masing tahap pengujian yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS.

Bab IV Hasil Pengujian dan Analisis Data

Berisi data hasil pengujian tegangan tembus yang kemudian dianalisis pada setiap data yang telah diperoleh dari pengujian Tugas Akhir ini.

Bab V Penutup

Data hasil pengujian yang telah dianalisis dapat ditarik kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini serta diakhiri dengan saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

1.4 Relevansi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi bagi mahasiswa yang akan melakukan penelitian tentang pengaruh kontaminan dan temperatur terhadap tegangan tembus minyak isolasi trafo. Selain itu, bisa juga dijadikan bahan evaluasi dalam penggunaan transformator dengan media isolasi cair yang berupa minyak mineral.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

BAB II

TEORI DASAR DAN KAJIAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator atau sering disebut dengan trafo merupakan sebuah peralatan listrik yang mampu untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Trafo merupakan bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang memiliki peran penting dalam penyaluran energi listrik. Fungsi utama dari alat ini adalah mengubah energi listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan perbandingan transformasi tertentu dan dalam frekuensi yang sama melalui gandingan magnet dengan prinsip kerja induksi elektromagnetik [4]. Dalam pemakaiannya, trafo dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Transformator daya

Transformator daya pada dasarnya digunakan untuk menaikkan tegangan. Pada trafo jenis ini, berfungsi untuk menaikkan daya pada energi listrik dari pembangkit yang kemudian disalurkan pada gardu induk.

2. Transformator distribusi

Jika pada transformator daya digunakan untuk menaikkan tegangan, maka pada transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan. Pada trafo jenis ini, berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk menuju ke konsumen.

3. Transformator pengukuran

Berbeda dengan transformator daya dan transformator distribusi, pada transformator pengukuran digunakan untuk pemasangan alat ukur dan proteksi pada sistem tenaga listrik tegangan tinggi. Transformator pengukuran dibedakan menjadi 2 macam, yaitu : trafo arus (*current* transformator) yang berfungsi untuk menurunkan besarnya arus listrik pada tegangan tinggi menjadi arus listrik yang kecil yang diperlukan untuk alat ukur, dan trafo tegangan (*voltage* transformator) yang berfungsi untuk menurunkan besarnya tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang diperlukan untuk alat ukur.

Pada umumnya, sebuah transformator memiliki komponen-komponen yang tersusun sehingga membentuk sebuah transformator yang utuh. Komponen-komponen transformator tersebut antara lain

adalah kumparan transformator, inti besi, tap *changer* dan *bushing*. Komponen-komponen tersebut memiliki fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya.

2.1.1 Kumparan Transformator

Kumparan transformator merupakan bagian yang terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (biasanya dari kertas isolasi trafo) untuk mengisolasi lilitan kawat tersebut terhadap kumparan lain maupun inti besi trafo. Jumlah lilitan kawat yang terdapat pada sebuah trafo menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder trafo. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan (2.1) yang kemudian dijelaskan pada Gambar 2.1.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.1)$$

Keterangan :

V_p = Tegangan disisi primer

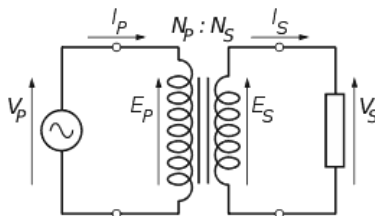
V_s = Tegangan disisi sekunder

I_p = Arus disisi primer

I_s = Arus disisi sekunder

N_p = Jumlah lilitan sisi primer

N_s = Jumlah lilitan sisi sekunder



Gambar 2.1 Rangkaian transformator ideal

2.1.2 Inti Besi

Pada bagian inti besi trafo terdiri dari lempengan-lempengan feromagnetik tipis yang berfungsi untuk mempermudah jalan fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik melalui kumparan trafo. Inti besi dibuat dari

lapisan-lapisan yang tipis bertujuan untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh eddy *current*. Eddy *current* dapat menyebabkan kerugian daya trafo karena jika terjadi induksi arus listrik pada inti besi sebagian energi listrik akan diubah menjadi energi panas pada inti besi, sehingga menyebabkan kerugian pada sebuah trafo. Oleh karena itu, maka inti besi dibuat lapisan-lapisan tipis untuk mengurangi panas yang disebabkan eddy *current*.

2.1.3 Tap Changer

Tap *changer* merupakan komponen trafo yang dapat mengubah kedudukan tap dengan tujuan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil meski beban pada trafo berubah-ubah. Komponen ini diletakkan pada sisi tegangan tinggi dari trafo. Tap *changer* dapat dilakukan ketika trafo dalam keadaan berbeban (*on-load*) maupun saat trafo dalam keadaan tidak berbeban (*off-load*).

2.1.4 Bushing

Bushing merupakan sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Fungsi dari bushing adalah menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. Selain itu bushing juga digunakan sebagai penyekat antara konduktor yang terhubung pada kumparan transformator dengan tangki transformator.

2.2 Isolasi Transformator

Isolasi merupakan sebuah sifat bahan yang mampu memisahkan dua elektroda atau lebih yang memiliki tegangan dan jaraknya berdekatan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya hubung singkat atau arus bocor pada rangkaian[5]. Pada transformator, isolator digunakan untuk mencegah munculnya tegangan tembus yang dapat menyebabkan rangkaian trip. Jenis-jenis isolator yang digunakan pada transformator ada 3 macam, yaitu isolator udara, isolator padat dan isolator cair.

2.2.1 Isolator Udara

Udara merupakan salah satu jenis isolator yang digunakan pada peralatan listrik tegangan tinggi. Diantara ketiga jenis isolator, udara merupakan isolator dengan kekuatan dielektrik paling rendah jika dibandingkan dengan isolator padat dan cair. Isolator udara yang sering digunakan teknisi pada umumnya menggunakan gas SF₆, N₂, dan CO₂ [6]. Dalam sistem tenaga listrik yang memakai isolator udara kebanyakan

menggunakan bahan isolasi seperti gas SF_6 . Gas SF_6 digunakan karena memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Akan tetapi, penggunaan gas SF_6 dinilai tidak ramah lingkungan dan dapat menimbulkan efek rumah kaca. Oleh karena itu maka diperlukan alternatif isolator udara lainnya seperti N_2 yang dinilai lebih ramah lingkungan.

2.2.2 Isolator Padat

Isolator padat digunakan untuk memisahkan satu konduktor dengan konduktor lain pada sistem yang memiliki tegangan berbeda atau pada sistem yang bertegangan dengan peralatan yang tidak memiliki tegangan. Isolator padat dapat digunakan pada peralatan listrik seperti transformator, isolator jenis ini dapat digunakan didalam atau diluar sistem. Untuk pengaplikasian yang terletak didalam sistem biasanya memiliki ruang yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, contohnya penggunaan kertas *kraft* pada transformator untuk mengisolasi belitan yang terdapat didalam transformator. Sedangkan untuk pengaplikasian isolator pada yang terletak diluar sistem biasanya memiliki ruang yang luas, contohnya isolator yang terpasang pada tiang jaringan distribusi biasanya menggunakan isolator yang terbuat dari bahan keramik atau polimer.

Penggunaan isolator padat seperti kertas *kraft* sangat penting dalam pengoperasian transformator karena memisahkan belitan satu dengan belitan lain yang memiliki tegangan agar tidak bersentuhan sehingga menyebabkan tegangan tembus pada transformator. Kertas *kraft* dibuat dari pulp kayu lunak yang tidak diputihkan oleh asam sulfat, hasil dari proses tersebut menghasilkan kertas yang mengandung sulfat sehingga memiliki sifat basa didalamnya [5]. Pada Gambar 2.2 menjelaskan penggunaan isolator padat pada transformator.



Gambar 2.2 Penggunaan isolator padat pada transformator

Berikut pada Gambar 2.2 merupakan kertas isolasi yang biasanya digunakan pada transformator yaitu kertas *kraft* (*diamond dotted paper*).



Gambar 2.3 Kertas *kraft* (*diamond dotted paper*)

2.2.3 Isolasi cair

Isolasi cair pada transformator merupakan isolator yang memiliki kekuatan dielektrik paling tinggi dibandingkan dengan jenis isolator lainnya, yaitu isolator udara dan isolator padat. Isolator jenis ini merupakan bahan isolasi yang sering digunakan pada transformator. Fungsi dari isolasi jenis ini selain sebagai isolator yang membatasi satu

konduktor dengan konduktor lainnya agar tidak bersentuhan, isolator cair juga dapat digunakan sebagai media pendingin dari traformator. Beberapa alasan mengapa bahan isolasi cair digunakan sebagai media isolasi transformator adalah bahan isolasi jenis ini memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih jika dibandingkan dengan bahan isolasi udara dan padat, hal ini yang menyebabkan kekuatan dielektrik isolasi cair lebih tinggi karena isolator jenis ini setiap celah atau ruang yang akan diisolasi [3]. Selain itu, bahan isolasi cair dapat menghilangkan panas yang ditimbulkan akibat rugi-rugi energi pada transformator sehingga mampu menjaga temperatur transformator tersebut.

Isolator cair yang ideal harus memiliki nilai yang rendah untuk faktor-faktor seperti kerapatan, kekentalan dan kerugian serta tidak boleh memiliki sifat yang dapat menimbulkan korosi. Sebaliknya, isolator jenis ini harus memiliki nilai-nilai yang tinggi untuk faktor-faktor seperti kekuatan dielektrik, panas jenis, konduktivitas dan volume resistivitasnya. Bahan yang sering digunakan sebagai media isolasi cair adalah minyak. Minyak yang digunakan sebagai isolator pada transformator dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Minyak nabati

Minyak nabati merupakan jenis minyak isolasi transformator yang dibuat dari bahan-bahan organik. Beberapa contoh dari minyak jenis ini adalah minyak kelapa murni, minyak kelapa sawit, minyak jarak dan minyak kedelai.

- a. Minyak kelapa murni

Minyak kelapa murni atau sering disebut *virgin coconut oil* (VCO) merupakan minyak yang dibuat dari bahan dasar daging kelapa segar. VCO berbeda dengan minyak goreng biasa karena minyak jenis ini pada proses pembuatannya menggunakan pemanasan terkendali atau tanpa pemanasan sama sekali serta tidak dengan menambahkan bahan kimia kedalamnya. Minyak kelapa murni memiliki ciri tidak memiliki bau yang menyengat dan berwarna bening.

- b. Minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit atau bisa disebut *crude palm oil* (CPO) merupakan minyak yang dibuat dari daging buah kelapa sawit melalui proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS), perontokan dan pengepresan. CPO didapatkan dari bagian mesokarp kelapa

sawit yang telah melalui beberapa proses seperti sterilisasi, pengepresan dan klarifikasi.

c. Minyak jarak

Minyak jarak merupakan minyak yang didapatkan dari ekstraksi biji tanaman jarak (*Jatropha curcas*). Ciri dari minyak jenis ini adalah memiliki bau yang cukup menyengat dan warnanya kuning pucat. Bau minyak yang cukup menyengat tersebut dapat direduksi dengan cara minyak tidak boleh dibiarkan terbuka dalam kurun waktu yang lama pada suhu diatas 40°C.

d. Minyak kedelai

Salah satu contoh jenis minyak nabati yang layak dipertimbangkan sebagai alternatif isolator cair untuk transformator adalah minyak kedelai. Minyak kedelai merupakan minyak yang dihasilkan dari pengolahan biji kedelai yang telah melewati beberapa tahap dalam pembuatannya. Salah satu cara untuk mendapatkan minyak kedelai yang merupakan hasil ekstraksi dari kacang kedelai adalah dengan pengepresan mekanik. Minyak ini memiliki ciri berwarna kuning dan bau yang tidak begitu menyengat.

2. Minyak mineral

Minyak mineral merupakan minyak isolasi yang memiliki bahan dasar minyak bumi yang telah melalui proses secara destilasi. Setelah melalui proses destilasi, minyak bumi ini harus melalui beberapa proses lagi untuk mendapatkan tahanan isolasi yang tinggi, mempunyai karakteristik panas yang stabil serta memiliki stabilitas panas yang baik. Minyak isolasi mineral sering digunakan pada transformator daya, kapasitor, pemutus daya (CB), dan kabel.

Minyak trafo mineral tersusun atas senyawa utama hidrokarbon yang terdiri atas senyawa hidrokarbon parafanik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, dalam minyak mineral terkandung senyawa tambahan zat aditif yang memiliki kandungan kecil dan berguna untuk meningkatkan pengaruh oksidasi dan penyerapan gas[3]. Karena bahan isolator minyak mineral bukan dielektrik sempurna, maka molekul-molekul yang ada pada bahan isolator tersebut tidak terikat erat melainkan masih ada elektron-elektron yang dapat terlepas dari ikatan dan bergerak bebas yang disebabkan karena beban tegangan yang kemudian menimbulkan arus bocor yang mengalir pada media elektrik.

3. Minyak sintesis

Minyak sintesis adalah minyak isolasi yang telah mengalami proses secara kimia yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik lebih baik dari minyak isolasi mineral. Akan tetapi minyak jenis ini memiliki beberapa kekurangan, yaitu sifat kimianya bisa berubah akibat perubahan temperatur, sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat, dan tidak dapat terurai sempurna sehingga jika transformator mengalami kebocoran bisa mengakibatkan pencemaran lingkungan. Beberapa contoh dari minyak isolasi sintesis yaitu flourinasi cair, askarel, ester sintesis dan silikon cair.

a. Flourinasi cair

Flourinasi cair merupakan minyak yang memiliki bahan dasar senyawa organik yang sebagian atom karbonnya telah digantikan oleh flour organik. Pada minyak jenis ini memiliki kekurangan seperti penurunan sifat dielektrik akibat adanya kandungan air dan juga memiliki sifat mudah menguap. Kelebihannya, sifat kimia flourinasi cair sangat stabil dan memiliki transfer panas yang baik jika dibandingkan minyak isolasi mineral.

b. Askarel

Askarel merupakan jenis minyak isolasi sintesis yang tidak mudah terbakar jika terjadi percikan api, selain itu askarel juga tidak menghasilkan gas yang mudah terbakar. Contoh minyak askarel yang sering digunakan adalah *chlorinated hydrocarbon*. Kekurangan dari minyak jenis ini adalah apabila terjadi percikan api dapat menimbulkan asam klorida yang korosif sehingga bisa menyebabkan korosi pada logam.

c. Ester sintesis

Minyak jenis ini merupakan hasil olahan dari minyak parafin yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik. Sifat-sifat dari minyak ester sintesis yaitu memiliki sifat thermal yang baik dan tidak mudah terbakar jika timbul percikan api, selain itu minyak ini dapat digunakan pada suhu 300 °C.

d. Silikon cair

Silikon cair merupakan minyak yang berasal dari campuran atom oksigen (O₂) dan silikon (Si) dengan bahan dasar seperti phenyl dan methyl. Kekurangan dari minyak ini yaitu, harganya relatif mahal dan menghasilkan gas yang relatif banyak jika terjadi percikan api sehingga menyebabkan kekuatan dielektriknya menjadi

menurun. Kelebihannya, minyak ini memiliki permitivitas yang rendah, memiliki ketahanan yang baik pada temperatur tinggi dan tahan terhadap tegangan yang memiliki frekuensi tinggi.

2.3 Dielektrik

Dielektrik merupakan suatu bahan berupa padat, gas, atau cair yang mempunyai daya hantar arus yang sangat kecil. Bahan ini sangat cocok bila dijadikan isolator yang baik karena semua elektron-elektron terikat kuat pada intinya yang membentuk struktur regangan pada benda padat, gas dan cair sehingga pada bahan dielektrik tidak terdapat elektron-elektron yang bergerak bebas karena pengaruh medan listrik. Bahan dielektrik digunakan untuk mengisolir bagian-bagian yang mampu menghantarkan arus pada hampir seluruh rangkaian listrik dan peralatan listrik. Oleh karena itu, bahan ini harus mempunyai sifat-sifat yang dibutuhkan yaitu kekuatan mekanis yang tinggi, memiliki rugi-rugi dielektrikum rendah, tahan terhadap perubahan temperatur dan bahan kimia serta bebas dari kemungkinan pembentukan gas dan debu.

Bahan dielektrik sebagai isolasi yang baik pada rangkaian listrik dan peralatan listrik memiliki fungsi sebagai berikut [5] :

1. Mampu menahan tekanan yang muncul karena perubahan temperatur dan reaksi kimia.
2. Mampu mengisolasi satu penghantar dengan penghantar lain sehingga tidak menyebabkan tegangan tembus pada sistem.
3. Mampu menahan gaya mekanis yang muncul karena adanya arus pada konduktor yang diisolasi.

Oleh karena itu, untuk menahan tekanan karena medan listrik, gaya mekanik, perubahan temperatur dan reaksi kimia yang dapat terjadi dalam satu waktu yang sama maka suatu bahan dielektrik dapat dinyatakan sebagai bahan isolasi yang baik jika mampu menahan semua tekanan tersebut dalam waktu yang lama. Bahan dielektrik sebagai isolasi yang baik dapat diukur dengan beberapa parameter sebagai berikut :

1. Kekuatan dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan tingkat ketahanan dimana suatu bahan dielektrik mampu menahan tekanan listrik tanpa mengubah sifat bahan tersebut menjadi konduktif. Jika suatu bahan dielektrik berubah sifatnya menjadi konduktif, maka bahan tersebut sudah mengalami *breakdown*. Untuk membuat suatu bahan dielektrik mengalami

breakdown maka dibutuhkan tegangan tembus yang merupakan tegangan minimal yang dibutuhkan untuk mengubah sifat bahan dielektrik menjadi konduktif. Sedangkan kekuatan dielektrik dari suatu bahan dinyatakan dengan besarnya tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh bahan tersebut. Oleh karena itu, maka kekuatan dielektrik dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan tinggi secara maksimum tanpa mengubah sifat bahan tersebut dan mengakibatkan *breakdown*.

2. Tahanan isolasi

Tahanan isolasi merupakan ukuran kebocoran arus yang melewati suatu bahan dielektrik. Arus bocor (*leakage current*) adalah arus yang mengalir pada permukaan peralatan listrik karena isolasi yang kurang baik dan tidak mampu menahan arus yang muncul. Perubahan temperatur dan lamanya tegangan yang digunakan dapat mengubah tahanan isolasi pada suatu bahan.

3. Rugi-rugi dielektrik

Rugi-rugi dielektrik disebabkan karena adanya gesekan antar molekul dan menyebabkan bahan dielektrik menjadi panas. Pada isolasi tegangan tinggi, suatu bahan dielektrik tersusun atas molekul-molekul dan elektron-elektron yang terikat kuat pada intinya. Ketika belum terkena medan listrik pada sistem, susunan molekul dan elektron tersebut masih belum rapi (tidak beraturan). Tetapi setelah terkena medan listrik pada sistem, elektron dalam molekul akan mengalami gaya yang berlawanan arah dengan medan listrik, sedangkan muatan positif akan mengalami gaya searah dengan medan listrik. Perbedaan arah pada molekul ini yang menyebabkan gesekan antar molekul sehingga menimbulkan panas pada bahan dielektrik.

4. Konduktansi

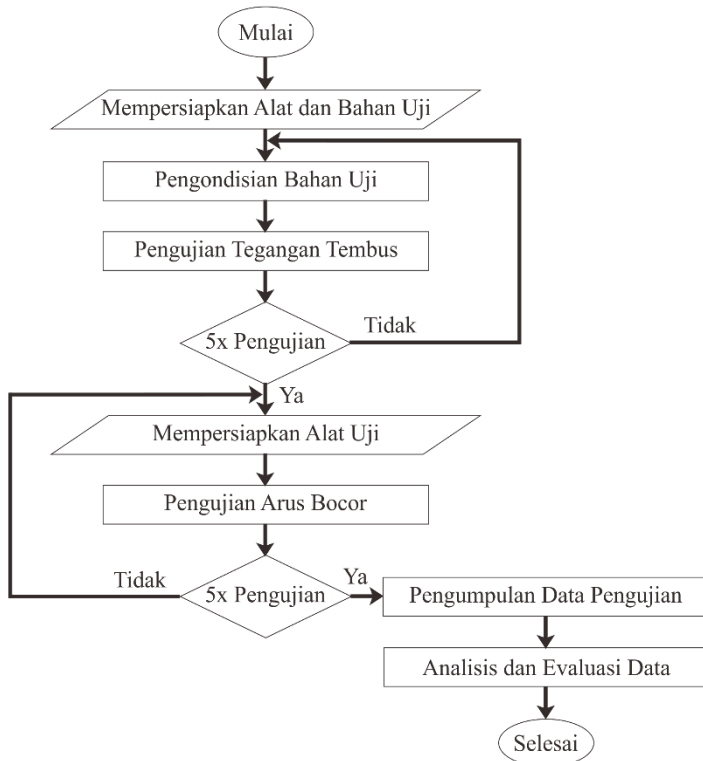
Konduktansi merupakan suatu kemampuan bahan dielektrik untuk mengalirkan muatan listrik. Pada bahan dielektrik perubahan temperatur dapat mempengaruhi konduktansi bahan tersebut, yaitu kenaikan temperatur akan menyebabkan nilai konduktansi suatu bahan menjadi turun. Nilai konduktansi dan hambatan suatu bahan dielektrik memiliki suatu hubungan, yaitu berbanding terbalik. Jika suatu bahan memiliki nilai konduktansi yang tinggi, maka bahan tersebut mampu mengalirkan muatan arus dengan baik yang artinya memiliki nilai hambatan yang

rendah. Sebaliknya jika nilai konduktansi suatu bahan rendah, maka bahan tersebut tidak mampu mengalirkan muatan listrik dengan baik yang artinya bahan tersebut memiliki nilai hambatan yang tinggi.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

BAB III METODE PENGUJIAN

3.1 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus



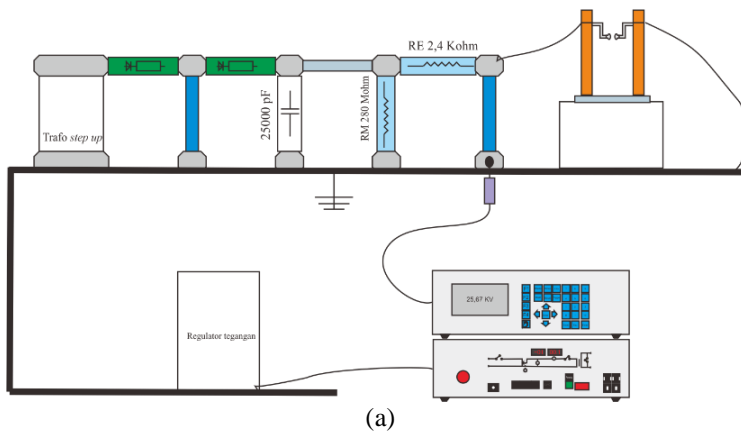
Gambar 3.1 Diagram alir pengujian tegangan tembus

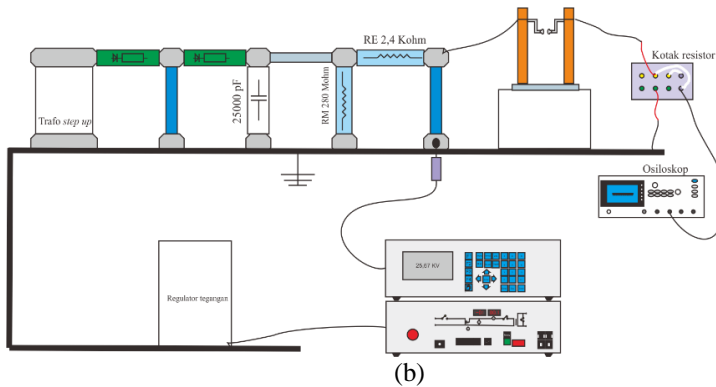
Pada Gambar 3.1 menjelaskan langkah-langkah dari metode pengujian untuk mendapatkan data hasil pengujian yang dimulai dari tahap persiapan, pengondisian, pengujian, hingga tahap analisis dan evaluasi data. Diagram alir ini menggambarkan metode pengujian yang digunakan agar bahan uji mengalami perlakuan yang sama agar data hasil

pengujian dapat dibandingkan dan dianalisis yang kemudian dapat diambil kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

3.2 Persiapan Alat dan Bahan Uji

Setelah mempelajari kajian ilmu yang berkaitan dengan topik penelitian, maka tahap selanjutnya adalah mempersiapkan alat dan bahan uji. Alat uji merupakan peralatan yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian, sedangkan bahan uji merupakan obyek uji yang digunakan untuk melakukan pengamatan sesuai dengan topik penelitian yaitu tegangan tembus pada minyak isolasi transformator. Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak mineral dengan merk Shell Diala B S2 ZU-I. Gambar 3.1 menjelaskan perangkat yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus dan arus bocor pada penelitian ini.





Gambar 3.2 (a) Perangkat pengujian tegangan tembus
(b) Perangkat pengujian arus bocor

3.3.1 Alat Uji

Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini, yaitu :

3.3.1.1 Gelas ukur

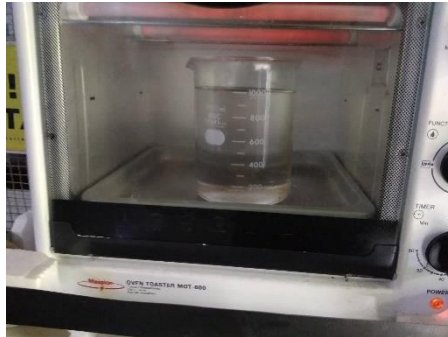
Gelas ukur merupakan wadah yang digunakan sebagai tempat bahan uji yang terbuat dari kaca bening. Wadah ini digunakan untuk mengukur volume minyak agar pada saat pengujian bahan uji memiliki volume yang sama sehingga bisa dibandingkan dan dianalisis yaitu sebanyak 1 liter. Alat ini memiliki kemampuan menahan panas yang cukup tinggi yaitu mencapai 200 °C. Oleh karena itu, selain digunakan untuk mengukur agar volume minyak yang digunakan sama, wadah ini dapat digunakan sebagai tempat minyak ketika dipanaskan didalam oven dengan temperatur yang telah ditetapkan mencapai 70°C. Wadah ini memiliki bentuk tabung dengan diameter 12 cm dan mampu untuk mengukur volume cairan maksimal 1 liter. Pertimbangan menggunakan gelas ukur dengan jenis AGC IWAKI CTE33 ini karena relatif ringan dan mudah dibawa serta bahannya yang mampu menahan panas mencapai 200°C. Gambar 3.3 menjelaskan bahan uji yang dimasukkan pada gelas ukur.



Gambar 3.3 Gelas ukur AGC IWAKI CTE33

3.3.1.2 Oven listrik

Oven listrik digunakan untuk memberikan perubahan temperatur bahan uji setelah dilakukan pengujian pada keadaan awal kemudian temperatur minyak dinaikkan mencapai 70°C . Oven listrik yang digunakan pada pengerjaan penelitian ini yaitu Maspion TOASTER MOT-600. Pertimbangan penggunaan oven listrik ini adalah karena memiliki kapasitas sebesar 20 liter sehingga dalam satu kali proses pemanasan bisa memasukkan dua gelas ukur yang berisikan bahan uji ke dalamnya. Selain itu, alat uji ini memiliki kemampuan untuk memanaskan bahan mencapai 250°C sehingga bisa memenuhi temperatur yang telah ditetapkan sebelum pengujian. Dalam proses pemanasan yang menggunakan oven dengan konsumsi daya ini, dilakukan pengaturan agar pemanasan bahan uji dapat merata yaitu dengan mengatur elemen pemanas pada posisi garis hitam dua untuk menyalakan elemen pemanas atas dan elemen pemanas bawah. Pada Gambar 3.4 memperlihatkan proses pemanasan bahan uji yang terdapat pada gelas ukur yang terdapat pada oven listrik.



Gambar 3.4 Oven listrik Maspion TOASTER MOT-600

3.3.1.3 *Thermometer infra merah*

Bahan uji yang akan digunakan sebagai obyek uji sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus memerlukan pengukuran temperatur secara *real time* agar dapat dibandingkan dan dianalisis data hasil pengujian tersebut. Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur bahan uji menggunakan termometer infra merah dengan merek Fluke, seri “63 IR THERMOMETER”. Pengukuran temperatur minyak dilakukan setiap sebelum pengujian tembus, yaitu ketika keadaan awal, setelah dipanaskan dengan oven, dan setelah didiamkan selama dua hari dengan temperatur ruangan. Penggunaan alat uji ini relatif mudah, yaitu cukup dengan mengarahkan sinar infra merah dari alat ke bahan uji yang berupa minyak kemudian akan terlihat nilai temperatur dari obyek tersebut.

Penggunaan alat ini sangat penting dalam pengukuran temperatur agar diperoleh nilai temperatur bahan uji yang akurat sebelum dilakukan pengujian. Pertimbangan menggunakan infra merah thermometer ini adalah dalam proses pengukuran yang memanfaatkan sinar infra merah sehingga tidak perlu bersentuhan langsung dengan bahan uji, hal ini sangat efektif karena dalam pengujian juga dilakukan dengan temperatur tinggi sehingga dalam pengukuran nilai temperaturnya akan lebih aman. Selain itu, jika dibandingkan thermometer yang memanfaatkan air raksa, infra merah thermometer memiliki keunggulan dalam hal pengukurannya, yaitu alat uji ini memiliki kemampuan untuk mengukur temperatur yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan thermometer yang memanfaatkan

air raksa karena infra merah thermometer mampu mengukur bahan uji yang memiliki temperatur mencapai 535°C (999°F).



Gambar 3.5 Thermometer infra merah

3.3.1.4 Kotak pengujian

Kotak pengujian merupakan wadah yang digunakan untuk menampung minyak ketika pengujian tegangan tembus. Kotak pengujian ini memiliki dimensi panjang 12cm, lebar 12cm dan tinggi 19cm. Pertimbangan menggunakan kotak yang terbuat dari kaca bening dengan ketebalan 0,5cm ini karena mampu menahan percikan api yang muncul ketika pengujian tegangan tembus. Penggunaan alat uji ini lebih aman dan efektif karena hanya digunakan ketika pengujian tegangan tembus sehingga tidak perlu digunakan untuk wadah minyak ketika dalam proses pemanasan menggunakan oven listrik. Selain itu, kotak pengujian relatif ringan sehingga mudah dibawa ketika untuk memindahkan minyak yang digunakan sebagai bahan uji dari gelas ukur ke dalam kotak pengujian atau sebaliknya ketika selesai pengujian dipindahkan dari kotak pengujian ke dalam gelas ukur untuk dipanaskan atau didiamkan selama dua hari agar mengalami perubahan temperatur yang ada di ruangan. Gambar 3.6 menjelaskan bahan uji yang dimasukkan pada kotak pengujian.



Gambar 3.6 Kotak pengujian

3.3.1.5 Osiloskop

Osiloskop merupakan alat yang digunakan untuk mengukur arus bocor (*leakage current*) yang terjadi dalam pengujian tegangan tembus. Dalam pengukuran arus bocor diperlukan alat uji tambahan yang berupa kotak resistor, hal ini dilakukan karena osiloskop hanya mampu membaca sinyal yang berupa tegangan oleh sebab itu maka diperlukan resistor agar arus bocor yang muncul dapat diukur. Pengerjaan penelitian ini menggunakan osiloskop GW Instek GDS-3254 yang memiliki empat channel didalamnya. Akan tetapi dalam pengujian ini hanya menggunakan satu channel yang mampu merekam data sebanyak 25000 titik. Gambar gelombang yang terbaca oleh osiloskop dan akan disimpan, dapat dilakukan dengan menekan tombol *run/stop* agar gelombang pada osiloskop berhenti dan dilihat apakah gelombang yang ditampilkan pada osiloskop merupakan gelombang yang akan disimpan. Kemudian menekan tombol *save* yang digunakan untuk menyimpan data gelombang yang sebelumnya sudah diatur untuk tempat penyimpanan data menggunakan sebuah flashdisk. Hasil data yang diperoleh dari osiloskop dapat dilihat menggunakan Ms. Excel.



Gambar 3.7 Osiloskop GW Instek GDS-3254

3.3.1.6 Kotak resistor

Kotak resistor merupakan sebuah kotak yang didalamnya terdapat rangkaian yang berisikan resistor. Didalam kotak ini terdapat beberapa resistor yang telah terpasang dan dapat digunakan untuk melakukan pengujian tegangan tembus untuk mencari arus bocor (*leakage current*) pada kabel. Terdapat 3 pilihan resistor yang akan digunakan yaitu 47ohm, 56ohm dan 100ohm. Pada pengerjaan penelitian ini menggunakan resistor yang berkapasitas 56ohm. Pada penggunaan alat ini yaitu menghubungkannya dengan osiloskop sehingga pada osiloskop terbaca gelombang tegangan hasil dari resistor yang dilewati arus bocor pada kabel.



Gambar 3.8 Kotak resistor

3.3.1.7 Modul pembangkitan tegangan DC

Modul pembangkitan tegangan DC yang digunakan untuk menaikkan tegangan hingga terjadi tegangan tembus pada pengujian ini adalah modul pembangkitan dengan merek HAEFELY seri DMI 551. Sumber tegangan yang dibangkitkan berasal dari PLN dengan tegangan 220 volt yang kemudian dinaikkan menggunakan transformator step up sehingga menghasilkan tegangan luaran yang lebih besar dari tegangan masukan. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sebelum masuk pada transformator step up disebut regulator tegangan, sedangkan untuk mengatur proses menaikkan atau menurunkan tegangan digunakan alat yang disebut *control box* dan berada diruangan kontrol. Transformator *step up* ini mampu membangkitkan tegangan yang mencapai 100kV dengan perbandingan belitan trafo 220/100.000V. Tegangan luaran dari transformator *step up* diteruskan ke resistor 2,4k ohm yang memiliki fungsi sebagai pengaman peralatan tegangan tinggi yaitu regulator tegangan dan transformator dari arus hubung singkat yang timbul saat terjadi tegangan tembus. Setelah dari resistor kemudian masuk ke rangkaian kapasitor yang memiliki fungsi sebagai pembagi tegangan yang nilai kapasitansinya dapat diatur oleh *control box* sehingga didapatkan tegangan yang diinginkan.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.9 (a) Modul pembangkitan DC (b) *Control box*
(c) Regulator tegangan (d) Transformator *step up*

Pada Gambar 3.10 merupakan rangkaian dari modul pembangkitan tegangan DC yang digunakan untuk mempermudah dalam memahami modul pembangkitan tegangan DC tersebut .

3.3.1.8 Modul pengujian

Modul pengujian merupakan alat uji yang bersentuhan langsung dengan bahan uji. Tegangan yang telah dibangkitkan menggunakan modul pembangkitan DC kemudian diteruskan pada modul pengujian untuk dilakukan pengamatan pada pengujian tegangan tembus terhadap bahan uji. Modul pengujian ini dari bagian alas yang merupakan plat besi dengan dimensi panjang 40cm, lebar 20cm, dan tinggi 1,5cm. Selain bagian alasnya, terdapat tiang penyangga yang terbuat dari bahan “Novotex”, yaitu bahan isolator yang merupakan campuran dari bahan kain dan resin yang dikompres[7]. Tiang penyangga ini berbentuk tabung dengan diameter 5cm dan tinggi 42cm. Bagian terakhir adalah penyangga elektroda yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan elektroda pada pengujian tegangan tembus yang posisinya dapat diatur sesuai dengan jarak sela elektroda yang telah ditentukan. Penyangga elektroda ini terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 1,2 cm. Sedangkan elektroda yang digunakan adalah elektroda yang memiliki bentuk jamur dengan

dimensi elektroda yang mengacu pada standar pengujian tegangan tembus IEC 156 dan terbuat dari *stainless steel*.



(a)



(b)

Gambar 3.10 (a) Modul pengujian (b) Elektroda

3.3.2 Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah minyak isolasi transformator. Minyak transformator yang digunakan memiliki jenis minyak mineral yaitu minyak Shell Diala B S2 ZU-I. Pertimbangan memilih bahan uji jenis minyak mineral karena sering digunakan pada isolasi transformator dan memiliki harga yang relatif murah serta mudah didapatkan. Pada Gambar 3.12 menjelaskan beberapa parameter minyak isolasi yang diambil dari dari *datasheet* minyak Shell Diala B S2 ZU-I.



Appearance	Clear, free from sediment and suspended matters
Density (kg/m ³)	Max. 895
Viscosity (mm ² /s)	Max. 11.2
Flash point (°C)	Min. 135
Corrosive sulphur	Not corrosive
Water ctt (mg/kg)	Max. 30
BDV (kV)	Min. 30

Gambar 3.11 Minyak Shell Diala B S2 ZU-I

Sedangkan untuk bahan uji yang digunakan sebagai kontaminan pada pengujian ini adalah kertas isolasi minyak transformator dengan jenis kertas *kraft* (*diamond dotted paper*). Kertas isolasi transformator dipotong menjadi kecil-kecil dengan 6 jenis ukuran yaitu 4mm x 4mm, 4mm x 2mm, 2mm x 2mm, 2mm x 1mm, 1mm x 1mm dan kertas isolasi yang telah dipotong kecil kemudian ditumbuk menjadi halus.



Gambar 3.12 Kertas *kraft* (*diamond dotted paper*)

3.3 Pengondisian Bahan Uji

Pada tahap pengondisian bahan uji, dilakukan pembagian bahan uji menjadi 7 sampel dan setiap sampel dilakukan 3 kali fase pengujian yaitu pada kondisi awal, setelah dipanaskan hingga mencapai temperatur 70°C, dan yang terakhir dидiamkan selama 2 hari hingga mencapai temperatur ruangan. Pada setiap fase pengujian tegangan tembus akan dilakukan pengambilan data hasil pengujian sebanyak 5 kali atau lebih sesuai kebutuhan. Dari data hasil pengujian akan didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus dari setiap fase pengujian. Pada setiap fase pengujian sebelum memulai pengujian tegangan tembus dilakukan pengukuran temperatur dari bahan uji. Sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus, minyak yang masih berada pada gelas ukur dituangkan pada kotak pengujian dengan hati-hati agar tidak tumpah dan pastikan agar kotak pengujian bersih sehingga tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang bisa menyebabkan kontaminasi pada bahan uji. Pada Tabel 3.1 menjelaskan proses pengondisian bahan uji pada penelitian ini.

Tabel 3.1 Pengondisian bahan uji

Fase ke-	1	2	3
Set Temperatur (°C)	Suhu ruangan	70	Didiamkan selama 2 hari

3.4 Pengujian Tegangan Tembus dan Arus Bocor

Bahan uji yang telah melewati tahap pengondisian kemudian dilanjutkan pada tahap pengujian tegangan tembus. Pengujian tegangan tembus yang terdiri dalam 3 fase pengujian yaitu pada kondisi awal, dipanaskan hingga mencapai temperatur 70°C, dan didiamkan selama 2 hari pada setiap fasenya sebelum pengujian dilakukan pengukuran temperatur bahan uji. Setelah pengukuran temperatur dilakukan kemudian dilakukan pengujian tegangan tembus, data hasil pengujian yang didapatkan kemudian dicatat. Pada setiap fase pengujian tegangan tembus dilakukan pengujian sebanyak 5 kali atau lebih sesuai dengan kebutuhan yang mana sebelum tegangan dinaikkan bahan uji diaduk terlebih dahulu agar kontaminan yang berupa kertas isolasi tidak mengendap dibawah. Setelah pengujian tegangan tembus selesai kemudian memasang alat uji yang digunakan untuk melakukan pengujian arus bocor. Sebelum melakukan pengujian arus bocor perlu memasang kotak resistor dan osiloskop pada rangkaian. Osiloskop yang terpasang digunakan untuk melihat gelombang tegangan hasil arus bocor yang melewati kotak resistor kemudian disimpan pada flashdisk. Pada pengujian arus bocor dilakukan sebanyak 5 kali atau lebih.

Setelah dilakukan pengujian tegangan tembus dan pengujian arus bocor fase pertama yaitu minyak dalam kondisi awal, bahan uji dituangkan kembali pada gelas ukur yang kemudian dimasukkan ke dalam oven listrik dan dipanaskan hingga mencapai temperatur 70°C. Bahan uji yang telah dipanaskan kemudian dilakukan pengukuran temperatur untuk mengetahui apakah temperatur bahan uji sesuai dengan yang ditentukan dengan nilai toleransi $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Jika bahan uji yang telah dilakukan pengukuran temperatur tetapi nilainya tidak sesuai dengan nilai yang telah ditentukan maka dilakukan pemanasan ulang hingga mencapai temperatur 70°C. Setelah pengukuran temperatur bahan uji sudah mendapatkan nilai yang ditentukan kemudian dilakukan pengujian tegangan tembus dan arus bocor kabel.

Bahan uji yang telah dilakukan pengujian pada fase kedua, kemudian dituangkan kembali pada gelas ukur. Setelah bahan uji ditempatkan pada gelas ukur kemudian didiamkan selama dua hari agar temperatur bahan uji menyesuaikan temperatur ruangan. Pengujian tegangan tembus dan arus bocor fase ketiga dimulai dengan melakukan pengukuran temperatur pada bahan uji yang telah didiamkan selama dua

hari. Bahan uji yang telah dilakukan pengukuran kemudian dituangkan pada kotak pengujian kemudian dilakukan pengujian tegangan tembus dan arus bocor kabel.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.13 (a) Proses pengukuran temperatur fase pertama
(b) Proses pengukuran temperatur fase kedua
(c) Proses pengukuran temperatur fase ketiga

3.5 Pengumpulan Data Pengujian

Data hasil pengujian semuanya dikumpulkan dan dijadikan satu, kemudian dibedakan data hasil pengujian tegangan tembus dan data hasil pengujian arus bocor. Pada data hasil pengujian tembus dibuat dalam bentuk tabel pada setiap sampel uji. Pembuatan tabel ini bertujuan agar data hasil pengujian lebih mudah diamati. Kemudian data dalam bentuk tabel tersebut disajikan dalam bentuk grafik agar dapat dibandingkan dan dianalisis dengan lebih akurat. Untuk menyajikan data dalam bentuk grafik diperlukan perangkat lunak yaitu Microsoft Excel. Sedangkan data hasil pengujian arus bocor yang terdapat pada flashdisk dibedakan pada setiap sampel uji. Data hasil pengujian yang didapat berupa tabel yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik dengan menggunakan perangkat lunak yaitu Matlab. Data dan grafik yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis sehingga dapat menghasilkan kesimpulan dari data-data yang didapat.

3.6 Analisis dan Evaluasi Data

Analisis data hasil pengujian dilakukan dengan tujuan agar didapatkan kesimpulan tentang pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator dengan perubahan temperatur minyak dari serangkaian tahapan dan metode pengujian yang telah dilakukan. Penjelasan mengenai analisis penelitian ini akan dibahas pada BAB IV laporan ini. Jika terjadi ketidaksesuaian antara data yang didapatkan dengan hipotesa atau referensi yang relevan, maka data hasil pengujian akan dievaluasi untuk mendapatkan hasil yang sesuai dan bisa lebih menyempurnakan laporan penelitian ini.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada tahap pengujian yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember diperoleh data hasil pengujian tegangan tembus dan arus bocor yang kemudian dijadikan satu dan dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu analisis data. Data hasil pengujian yang menggunakan bahan uji minyak mineral Shell Diala B S2 ZU-I dan kontaminan berupa kertas *kraft* (*diamond dotted paper*) dibuat dalam tabel sehingga muempermudah dalam analisis data. Pada BAB IV membahas tentang analisis data hasil pengujian dan pembahasan tentang pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator dengan perubahan temperatur minyak. Bahan uji yang digunakan pada pengujian ini dibagi menjadi tujuh sampel yaitu minyak murni, minyak dengan kontaminan kertas isolasi ukuran 4mm x 4mm, minyak dengan kontaminan kertas isolasi ukuran 4mm x 2mm, minyak dengan kontaminan kertas isolasi ukuran 2mm x 2mm, minyak dengan kontaminan kertas isolasi ukuran 2mm x 1mm, minyak dengan kontaminan kertas isolasi ukuran 1mm x 1mm, dan minyak dengan kontaminan kertas isolasi yang ditumbuk. Pada setiap sampel pengujian dilakukan dalam tiga fase, fase pertama yaitu ketika bahan uji dalam kondisi temperatur awal, fase kedua ketika bahan uji dipanaskan hingga mencapai temperatur 70°C, dan fase ketiga ketika bahan uji didiamkan selama dua hari.

4.1 Data Hasil Pengujian Minyak Murni

Pada pengujian sampel pertama yaitu minyak murni. Minyak tidak diberi kontaminan kemudian dilakukan pengujian yang sebelumnya dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak murni diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak murni

	Tegangan Tembus (KV)				
Pengujian ke-	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	33,88	38,17	39,57	35,44	40,24
Pemanasan (70°C)	53,03	48,32	50,15	51,70	53,11
Didiamkan 2 hari	35,70	39,03	31,65	36,80	34,94

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel pertama yang disajikan pada Tabel 4.1 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatifikn beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{33,88+38,17+39,57+35,44+40,24}{5} \\ &= 37,46 \text{ KV} \\ \text{Nilai terendah} &= 33,88 \text{ KV} \\ \text{Nilai tertinggi} &= 40,24 \text{ KV}\end{aligned}$$

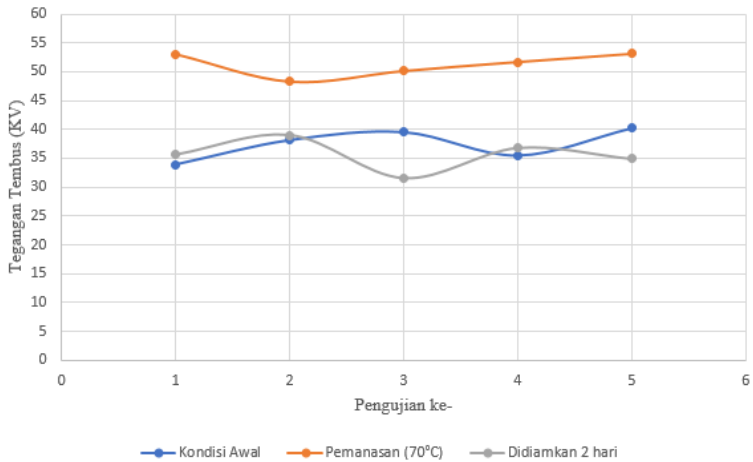
Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{53,03+48,32+50,15+51,70+53,11}{5} \\ &= 51,26 \text{ KV} \\ \text{Nilai terendah} &= 48,32 \text{ KV} \\ \text{Nilai tertinggi} &= 53,11 \text{ KV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada didiamkan 2 hari

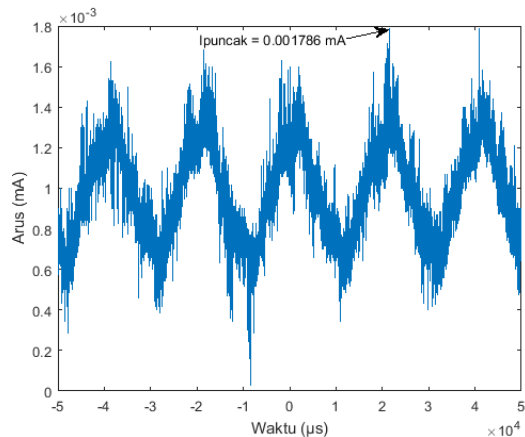
$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{35,70+39,03+31,65+36,80+34,94}{5} \\ &= 35,62 \text{ KV} \\ \text{Nilai terendah} &= 31,65 \text{ KV} \\ \text{Nilai tertinggi} &= 39,03 \text{ KV}\end{aligned}$$

Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.1 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.1.

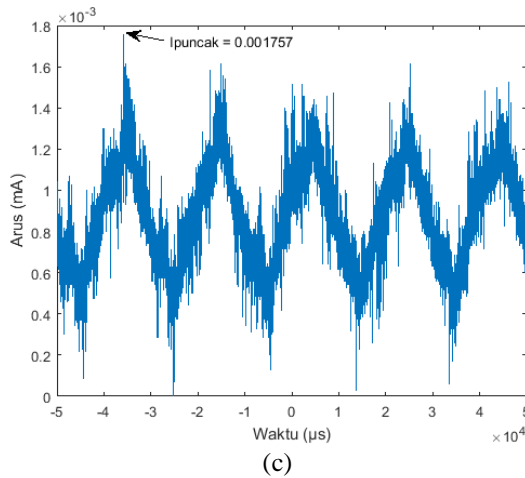
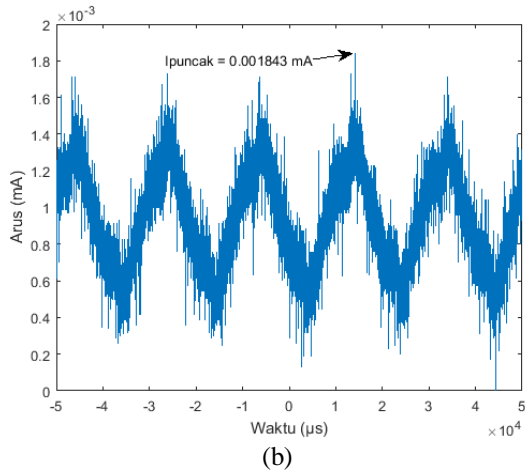


Gambar 4.1 Grafik pengujian tegangan tembus minyak murni

Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.2 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.



(a)



Gambar 4.2 (a) Grafik pengujian arus bocor minyak murni kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak murni pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak murni didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian minyak murni didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus

pada pengujian pertama 33,88 KV, pengujian kedua 38,17 KV, pengujian ketiga 39,57 KV, pengujian keempat 35,44 KV, dan pengujian kelima 40,24 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 37,46 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 53,03 KV, pengujian kedua 48,32 KV, pengujian ketiga 50,15 KV, pengujian keempat 51,70 KV, dan pengujian kelima 53,11 KV sehingga pada pemanasan (70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 51,26 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 35,70 KV, pengujian kedua 39,03 KV, pengujian ketiga 31,65 KV, pengujian keempat 36,80 KV, dan pengujian kelima 34,94 KV sehingga pada fase pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 35,62 KV.

Pada sampel uji pertama dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 27°C, saat pemanasan (70°C) memiliki temperatur 69°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 28°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan (70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji pertama ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan (70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.2 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 4mm x 4mm

Pada pengujian sampel kedua yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil dengan ukuran 4mm x 4mm. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas dengan ukuran 4mm x 4mm diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 4mm x 4mm

	Tegangan Tembus (KV)				
Pengujian ke-	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	20,68	22,14	20,98	24,7	23,97
Pemanasan (70°C)	47,63	43,44	44,09	46,21	43,55
Didiamkan 2 hari	21,25	22,01	20,56	18,58	18,2

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel kedua yang disajikan pada Tabel 4.2 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatifikkan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{20,68+22,14+20,98+24,7+23,97}{5} \\ &= 22,49 \text{ KV}\end{aligned}$$

Nilai terendah = 20,68 KV

Nilai tertinggi = 24,7 KV

Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{47,63+43,44+44,09+46,21+43,55}{5} \\ &= 44,98 \text{ KV}\end{aligned}$$

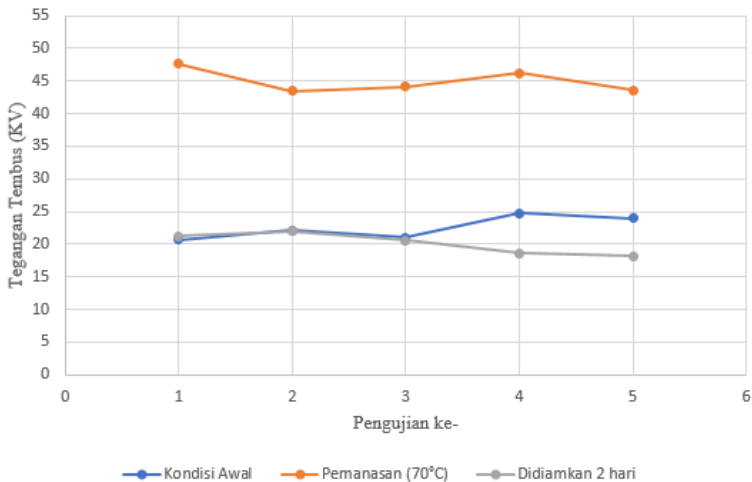
Nilai terendah = 43,44 KV

Nilai tertinggi = 47,63 KV

Data pengujian pada didiamkan 2 hari

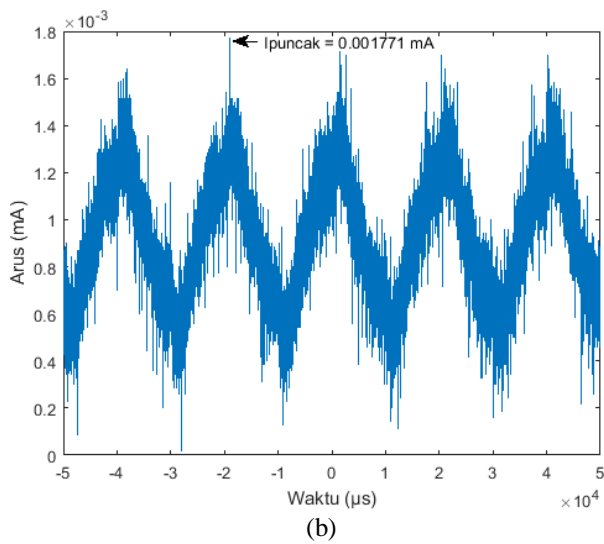
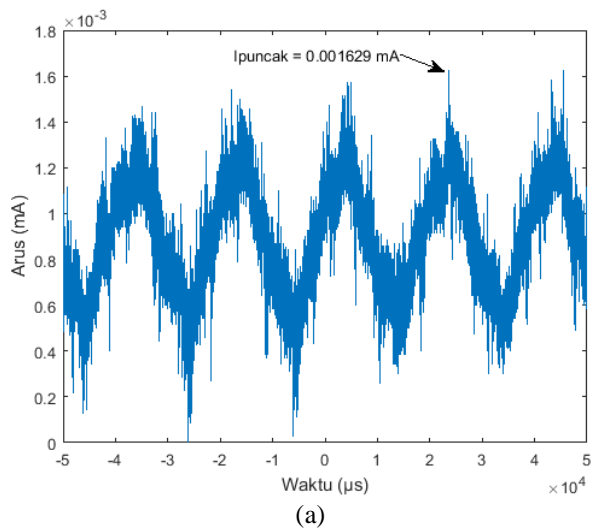
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{21,25+22,01+20,56+18,58+18,2}{5} \\
 &= 20,21 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 18,2 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 22,01 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

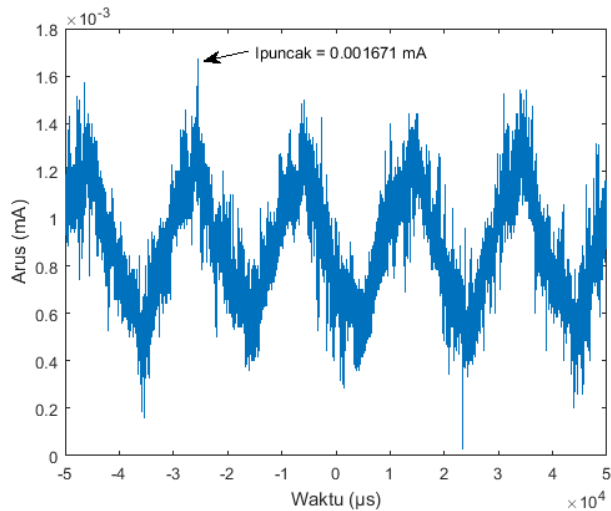
Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.3 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.2.



Gambar 4.3 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 4mm x 4mm

Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.4 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.





(c)

- Gambar 4.4** (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 4mm didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas 4mm x 4mm didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 20,68 KV, pengujian kedua 22,14 KV, pengujian ketiga 20,98 KV, pengujian keempat 24,7 KV, dan pengujian kelima 23,97 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 22,49 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 47,63 KV, pengujian kedua 43,44 KV, pengujian ketiga 44,09 KV, pengujian keempat 46,21 KV, dan pengujian kelima 43,55 KV sehingga pada pemanasan (70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 44,98 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 21,25 KV, pengujian kedua 22,01 KV, pengujian ketiga 20,56 KV, pengujian keempat 18,58 KV, dan

pengujian kelima 18,2 KV sehingga pada fase pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 22,21 KV.

Pada sampel uji kedua dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 27°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 70°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 28°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji kedua ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.3 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 4mm x 2mm

Pada pengujian sampel ketiga yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil dengan ukuran 4mm x 2mm. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas dengan ukuran 4mm x 2mm diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 4mm x 2mm

Pengujian ke-	Tegangan Tembus (KV)				
	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	17,05	18,12	17,55	17,14	17,03
Pemanasan (70°C)	34,37	30,47	35,29	31,68	31,54
Didiamkan 2 hari	17,42	17,32	17,4	18,3	18,24

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel ketiga yang disajikan pada Tabel 4.3 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatikan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{17,05+18,12+17,55+17,14+17,03}{5} \\
 &= 17,38 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 17,03 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 18,12 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

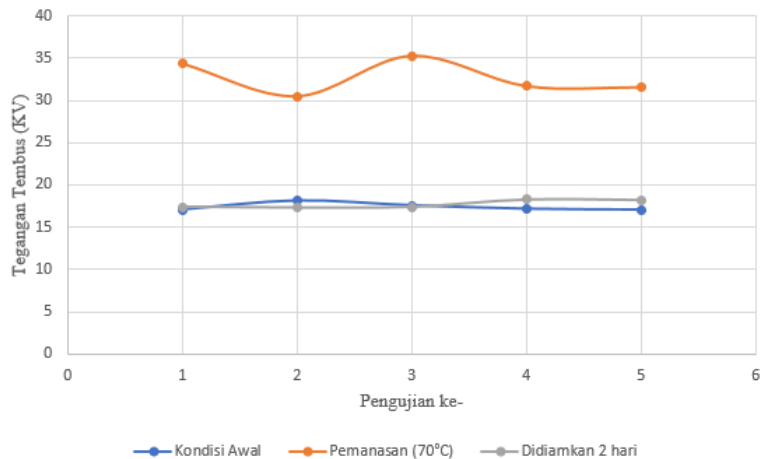
Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{34,37+30,47+35,29+31,68+31,54}{5} \\
 &= 32,67 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 30,47 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 35,29 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

Data pengujian pada didiamkan 2 hari

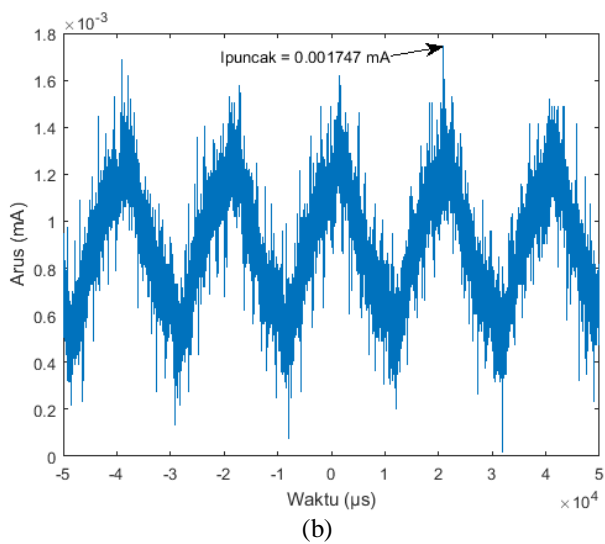
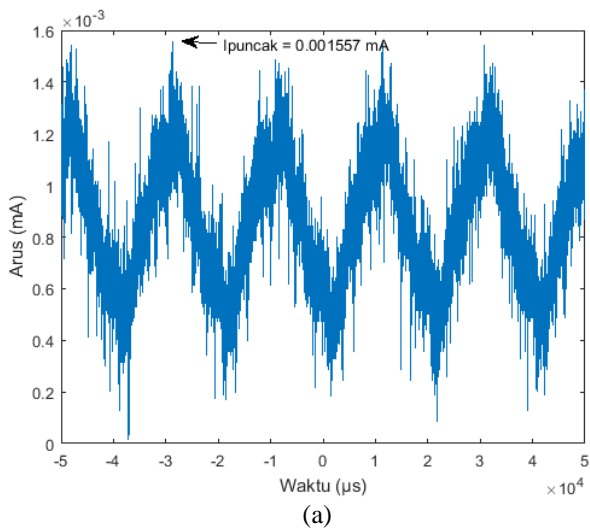
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{17,42+17,32+17,4+18,3+18,24}{5} \\
 &= 17,74 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 17,32 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 18,3 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

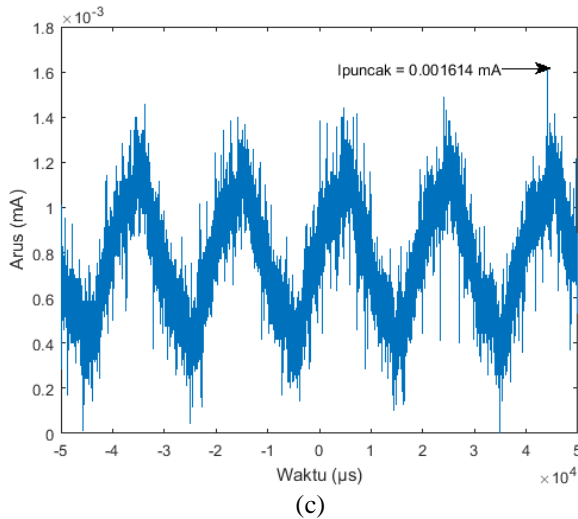
Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.5 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.5 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 4mm x 2mm

Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.6 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.





Gambar 4.6 (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 4mm x 2mm didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas 4mm x 2mm didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 17,05 KV, pengujian kedua 18,12 KV, pengujian ketiga 17,55 KV, pengujian keempat 17,14 KV, dan pengujian kelima 17,03 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 17,38 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 34,37 KV, pengujian kedua 30,47 KV, pengujian ketiga 35,29 KV, pengujian keempat 31,68 KV, dan pengujian kelima 31,54 KV sehingga pada pemanasan (70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 32,67 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 17,42 KV, pengujian kedua 17,32 KV, pengujian ketiga 17,4 KV, pengujian keempat 18,3 KV, dan pengujian kelima 18,24 KV sehingga pada fase

pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 17,74 KV.

Pada sampel uji ketiga dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 27°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 71°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 28°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji ketiga ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.4 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 2mm x 2mm

Pada pengujian sampel keempat yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil dengan ukuran 2mm x 2mm. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas dengan ukuran 2mm x 2mm diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 2mm x 2mm

	Tegangan Tembus (KV)				
Pengujian ke-	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	12,04	12,88	12,63	12,64	12,03
Pemanasan (70°C)	32,97	30,17	29,21	29,48	31,08
Didiamkan 2 hari	13,42	13,67	11,98	12,54	12,51

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel keempat yang disajikan pada Tabel 4.4 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatikan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{12,04+12,88+12,63+12,64+12,03}{5} \\
 &= 12,44 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 12,03 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 12,88 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

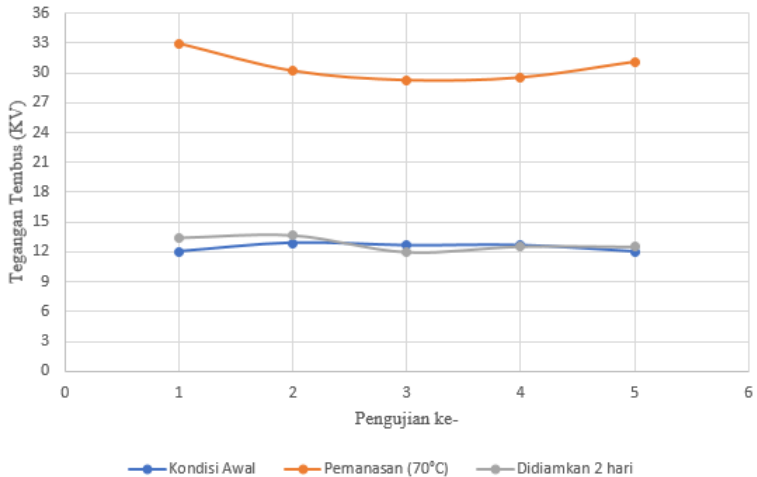
Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{32,97+30,17+29,21+29,48+31,08}{5} \\
 &= 30,58 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 29,21 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 32,97 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

Data pengujian pada didiamkan 2 hari

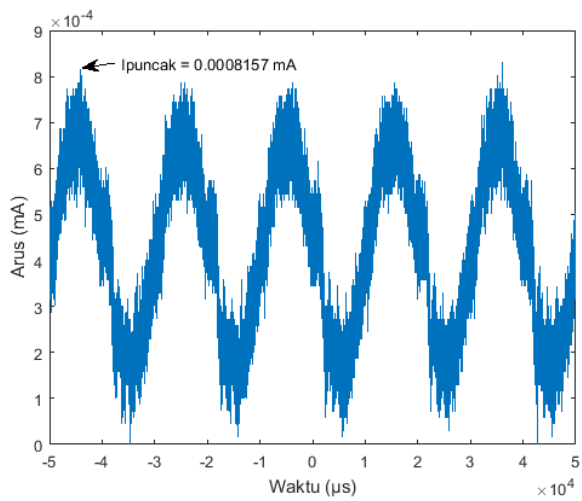
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{13,42+13,67+11,98+12,54+12,51}{5} \\
 &= 12,82 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 11,98 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 13,67 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.7 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.4.

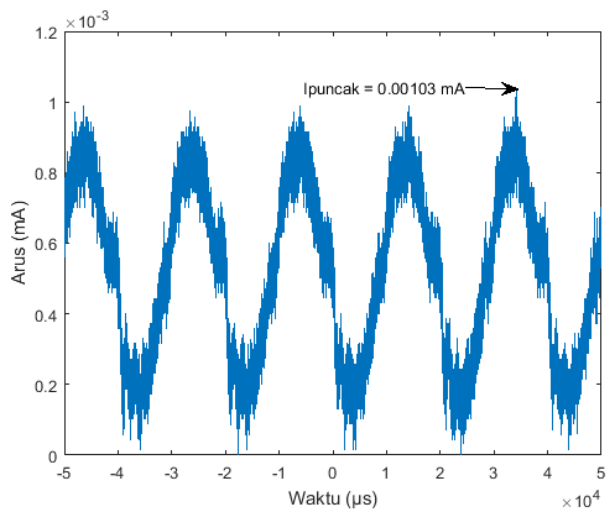


Gambar 4.7 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 2mm x 2mm

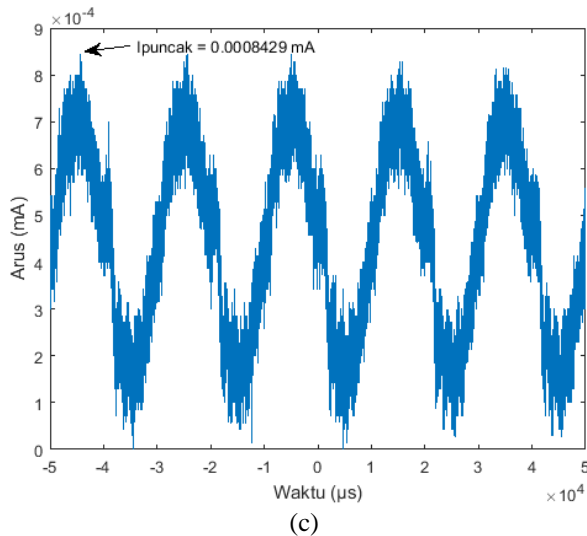
Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.8 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.



(a)



(b)



Gambar 4.8 (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 2mm didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas 2mm x 2mm didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 12,04 KV, pengujian kedua 12,88 KV, pengujian ketiga 12,63 KV, pengujian keempat 12,64 KV, dan pengujian kelima 12,03 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 12,44 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 32,97 KV, pengujian kedua 30,17 KV, pengujian ketiga 29,21 KV, pengujian keempat 29,48 KV, dan pengujian kelima 31,08 KV sehingga pada pemanasan(70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 30,58 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 13,42 KV, pengujian kedua 13,67 KV, pengujian ketiga 11,98 KV, pengujian keempat 12,54 KV, dan pengujian kelima 12,51 KV sehingga pada fase

pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 12,82 KV.

Pada sampel uji keempat dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 26°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 72°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 28°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji keempat ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.5 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 2mm x 1mm

Pada pengujian sampel kelima yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil dengan ukuran 2mm x 1mm. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas dengan ukuran 2mm x 1mm diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 2mm x 1mm

Pengujian ke-	Tegangan Tembus (KV)				
	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	10	12,13	11,42	11,71	10,81
Pemanasan (70°C)	27,05	28,22	29,11	26,56	28,88
Didiamkan 2 hari	11,53	11,13	11,05	11,1	11,64

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel kelima yang disajikan pada Tabel 4.5 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatikan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{10+12,13+11,42+11,71+10,81}{5} \\ &= 11,21 \text{ KV}\end{aligned}$$

Nilai terendah = 10 KV

Nilai tertinggi = 12,13 KV

Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{27,05+28,22+29,11+26,56+28,88}{5} \\ &= 27,96 \text{ KV}\end{aligned}$$

Nilai terendah = 26,56 KV

Nilai tertinggi = 29,11 KV

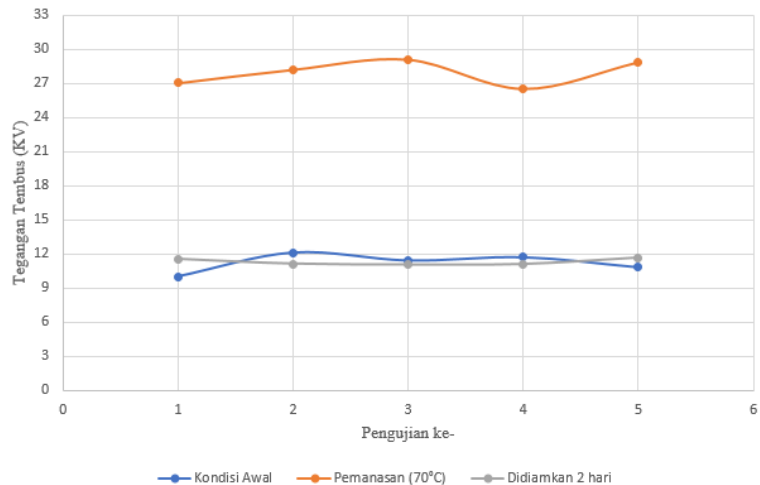
Data pengujian pada didiamkan 2 hari

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{11,53+11,13+11,05+11,1+11,64}{5} \\ &= 11,29 \text{ KV}\end{aligned}$$

Nilai terendah = 11,05 KV

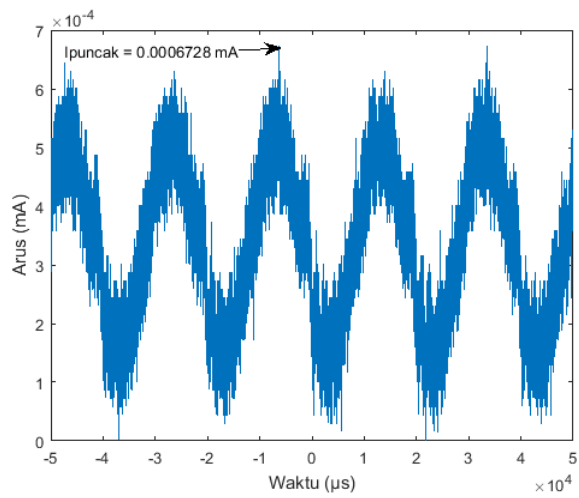
Nilai tertinggi = 11,64 KV

Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.9 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.5.

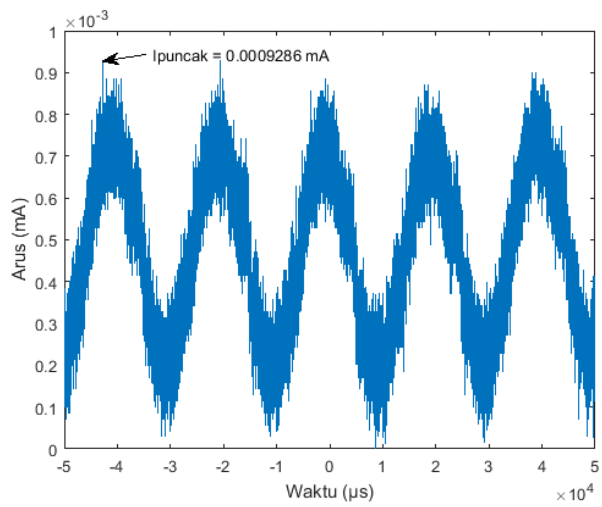


Gambar 4.9 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 2mm x 1mm

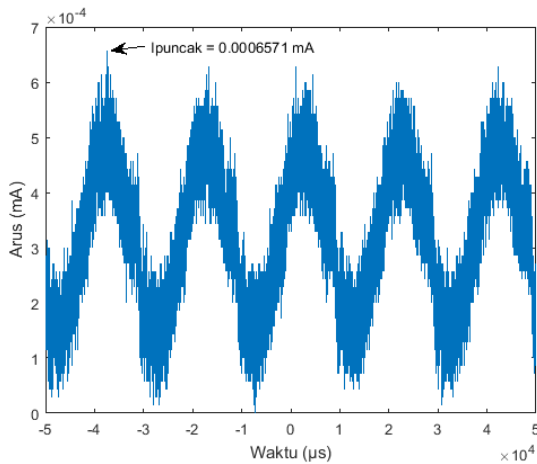
Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.10 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 2mm x 1mm didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas 2mm x 1mm didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 10 KV, pengujian kedua 12,13 KV, pengujian ketiga 11,42 KV, pengujian keempat 11,71 KV, dan pengujian kelima 10,81 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 11,21 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 27,05 KV, pengujian kedua 28,22 KV, pengujian ketiga 29,11 KV, pengujian keempat 26,56 KV, dan pengujian kelima 28,88 KV sehingga pada pemanasan(70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 27,96 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai

tegangan tembus pada pengujian pertama 11,53 KV, pengujian kedua 11,13 KV, pengujian ketiga 11,05 KV, pengujian keempat 11,1 KV, dan pengujian kelima 11,64 KV sehingga pada fase pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 11,29 KV.

Pada sampel uji kelima dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 27°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 70°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 23°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji kelima ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.6 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas 1mm x 1mm

Pada pengujian sampel keenam yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil dengan ukuran 1mm x 1mm. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas dengan ukuran 1mm x 1mm diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 1mm x 1mm

	Tegangan Tembus (KV)				
Pengujian ke-	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	10,67	10,6	10,1	10,82	11,03
Pemanasan (70°C)	26,45	23,77	26,03	24,03	26
Didiamkan 2 hari	10,02	10,91	10,32	10,49	10,13

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel keenam yang disajikan pada Tabel 4.6 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatikan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{10,67+10,6+10,1+10,82+11,03}{5} \\
 &= 10,64 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 10,1 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 11,03 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

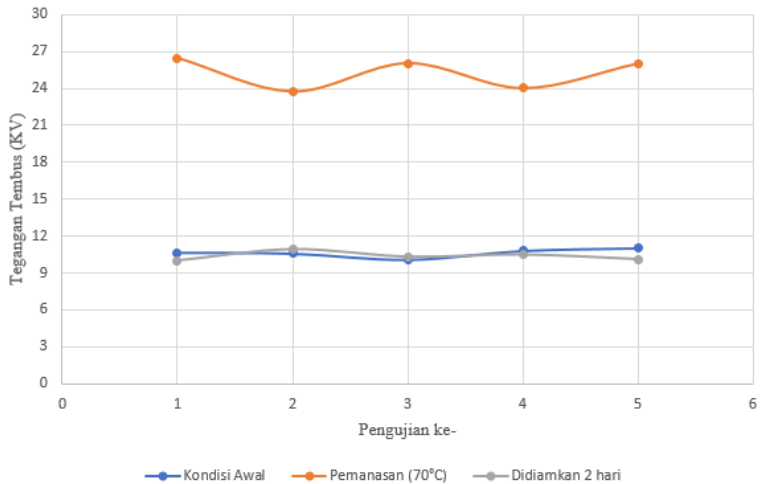
Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{26,45+23,77+26,03+24,03+26}{5} \\
 &= 25,26 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 23,77 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 26,45 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

Data pengujian pada didiamkan 2 hari

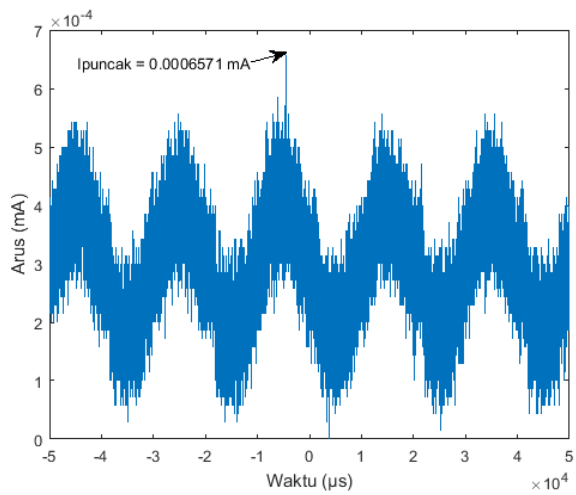
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{10,02+10,91+10,32+10,49+10,13}{5} \\
 &= 10,37 \text{ KV} \\
 \text{Nilai terendah} &= 10,02 \text{ KV} \\
 \text{Nilai tertinggi} &= 10,91 \text{ KV}
 \end{aligned}$$

Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.11 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.6.

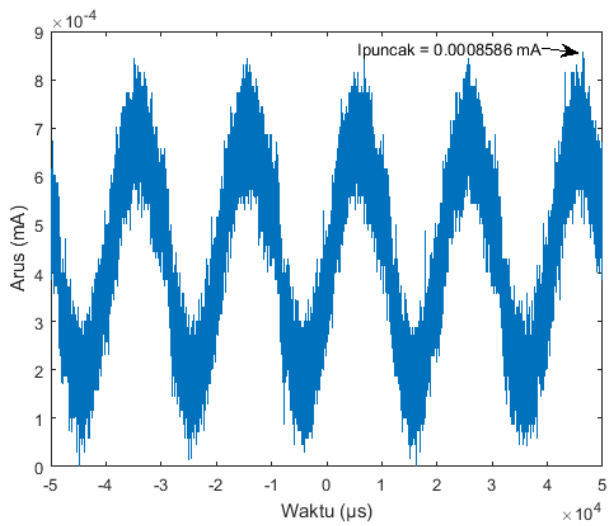


Gambar 4.11 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas 1mm x 1mm

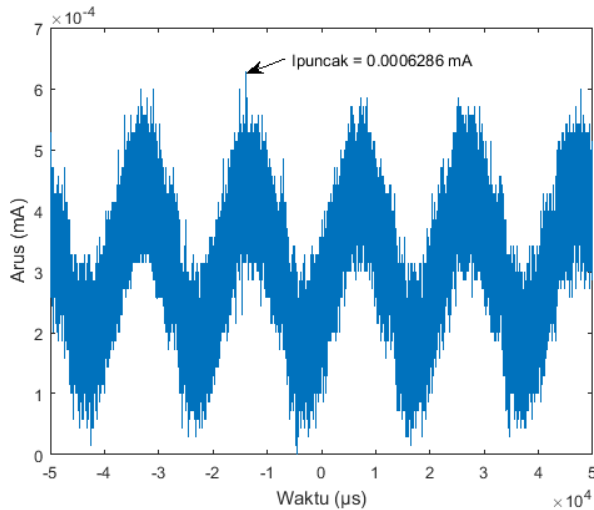
Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.12 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.



(a)



(b)



(c)

- Gambar 4.12** (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas ukuran 1mm x 1mm didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas 1mm x 1mm didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 10,67 KV, pengujian kedua 10,6 KV, pengujian ketiga 10,1 KV, pengujian keempat 10,82 KV, dan pengujian kelima 11,03 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 10,64 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 26,45 KV, pengujian kedua 23,77 KV, pengujian ketiga 26,03 KV, pengujian keempat 24,03 KV, dan pengujian kelima 26 KV sehingga pada pemanasan(70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 25,26 KV. Kemudian pada fase pengujian

didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 10,02 KV, pengujian kedua 10,91 KV, pengujian ketiga 10,32 KV, pengujian keempat 10,49 KV, dan pengujian kelima 10,13 KV sehingga pada fase pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 10,37 KV.

Pada sampel uji keenam dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 26°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 69°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 25°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji keenam ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

4.7 Data Hasil Pengujian Kontaminan Kertas Ditumbuk

Pada pengujian sampel ketujuh yaitu minyak isolasi dengan kontaminan kerta isolasi dengan ukuran awal 4cm x 4cm kemudian dipotong menjadi kecil-kecil lalu ditumbuk menjadi halus. Sebelum memulai pengujian dilakukan pengukuran temperatur terlebih dahulu. Pada pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas yang ditumbuk diperoleh data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas ditumbuk

Pengujian ke-	Tegangan Tembus (KV)				
	1	2	3	4	5
Kondisi Awal	9,4	9,84	9,54	9,46	9,55
Pemanasan (70°C)	19,67	17,96	17,31	21,66	18,73
Didiamkan 2 hari	9,72	9,65	9,43	8,75	8,91

Dari data hasil pengujian tegangan tembus sampel ketujuh yang disajikan pada Tabel 4.7 didapatkan nilai yang variatif pada setiap fase pengujian. Oleh karena itu maka ditentukan nilai rata-rata sebagai satu nilai yang mempresentatikan beberapa data yang diperoleh, serta nilai terendah dan nilai tertinggi setiap fase pengujian.

Data pengujian pada kondisi awal

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{9,4+9,84+9,54+9,46+9,55}{5} \\ &= 9,56 \text{ KV}\end{aligned}$$

$$\text{Nilai terendah} = 9,4 \text{ KV}$$

$$\text{Nilai tertinggi} = 9,84 \text{ KV}$$

Data pengujian pada pemanasan (70°C)

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{19,67+17,96+17,31+21,66+18,73}{5} \\ &= 19,07 \text{ KV}\end{aligned}$$

$$\text{Nilai terendah} = 17,31 \text{ KV}$$

$$\text{Nilai tertinggi} = 21,66 \text{ KV}$$

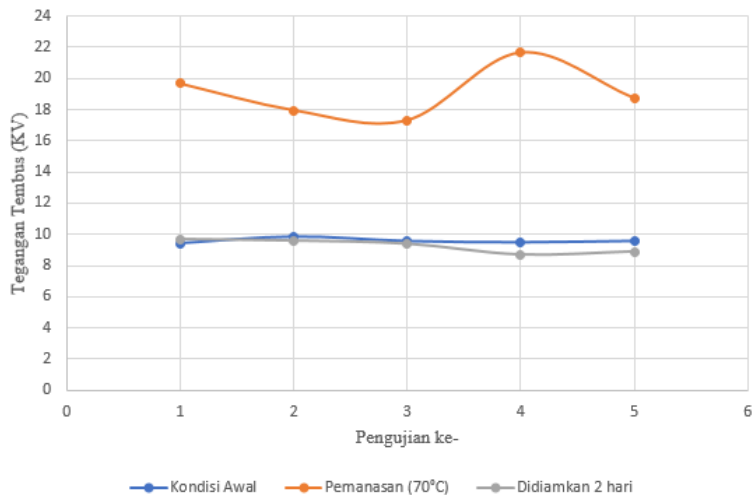
Data pengujian pada didiamkan 2 hari

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{nilai data uji}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{9,72+9,65+9,43+8,75+8,91}{5} \\ &= 9,3 \text{ KV}\end{aligned}$$

$$\text{Nilai terendah} = 8,75 \text{ KV}$$

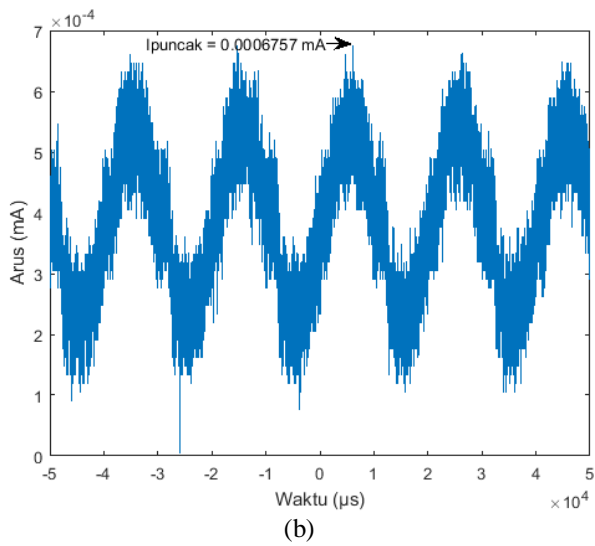
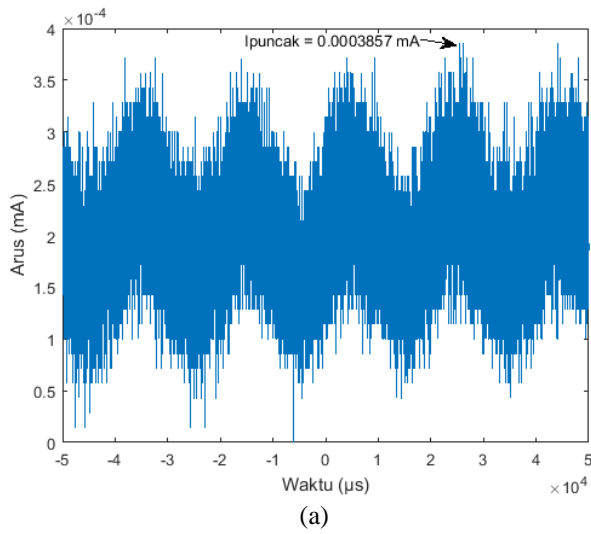
$$\text{Nilai tertinggi} = 9,72 \text{ KV}$$

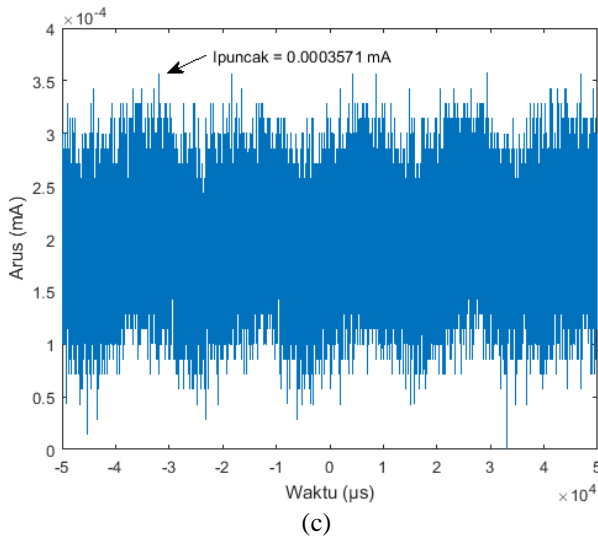
Untuk mempermudah dalam mengamati dan menganalisis data hasil pengujian maka dibuat grafik pada Gambar 4.13 yang menjelaskan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.13 Grafik pengujian tegangan tembus minyak dengan kontaminan kertas ditumbuk

Untuk hasil pengujian arus bocor yang didapatkan berupa grafik hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada Gambar 4.14 menjelaskan hasil pengolahan data pengujian arus bocor.





(c)

Gambar 4.14 (a) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas yang ditumbuk kondisi awal
 (b) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas yang ditumbuk pemanasan (70°C)
 (c) Grafik pengujian arus bocor minyak dengan kontaminan kertas yang ditumbuk didiamkan 2 hari

Dari data hasil pengujian kontaminan kertas yang ditumbuk didapatkan bahwa pada kondisi awal dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 9,4 KV, pengujian kedua 9,84 KV, pengujian ketiga 9,54 KV, pengujian keempat 9,46 KV, dan pengujian kelima 9,55 KV sehingga pada kondisi awal didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 9,56 KV. Kemudian pada pemanasan (70°C) juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 19,67 KV, pengujian kedua 17,96 KV, pengujian ketiga 17,31 KV, pengujian keempat 21,66 KV, dan pengujian kelima 18,73 KV sehingga pada pemanasan (70°C) didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 19,07 KV. Kemudian pada fase pengujian didiamkan 2 hari juga dilakukan lima kali pengujian dengan nilai tegangan tembus pada pengujian pertama 9,72 KV, pengujian kedua 9,65 KV, pengujian

ketiga 9,43 KV, pengujian keempat 8,75 KV, dan pengujian kelima 8,91 KV sehingga pada fase pengujian didiamkan 2 hari didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus 9,3 KV.

Pada sampel uji ketujuh dilakukan pengujian tegangan tembus saat kondisi awal memiliki temperatur 27°C, saat pemanasan(70°C) memiliki temperatur 71°C, dan saat didiamkan 2 hari memiliki temperatur 23°C. Jika dilihat dari nilai rata-rata tegangan tembus antara kondisi awal, pemanasan(70°C), dan didiamkan 2 hari memiliki perbedaan nilai. Perbedaan nilai rata-rata tegangan tembus ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai temperatur dari tiga fase pengujian pada sampel uji ketujuh ini. Pada kondisi awal dan didiamkan 2 hari memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada pemanasan(70°C) memiliki nilai rata-rata tegangan tembus lebih besar dari fase pengujian lainnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung pada sampel uji semakin berkurang akibat adanya penguapan ketika sampel uji dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung pada sampel uji memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat saat pengujian. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air maka proses pembentukan jembatan serat lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar yang terkandung pada sampel uji semakin rendah akibat proses pemanasan, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

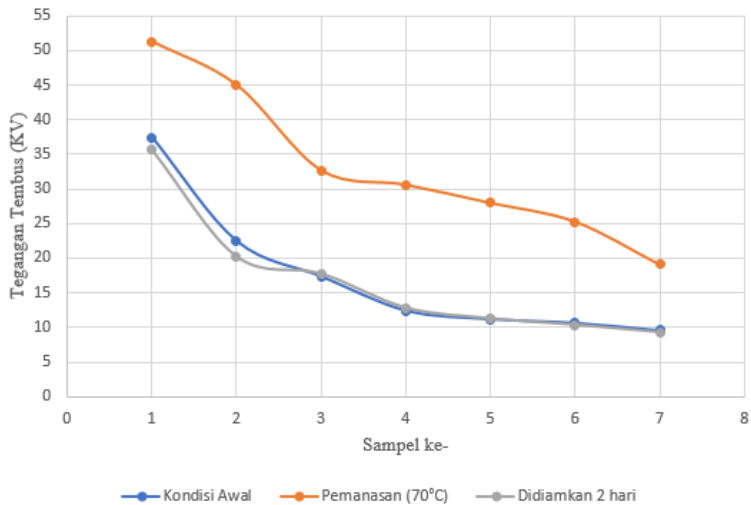
4.8 Analisis Perbandingan Data Hasil Pengujian

Data yang telah diperoleh dan diolah kemudian dijadikan satu dan dibandingkan dengan sampel uji yang digunakan dalam fase yang sama. Pada perbandingan ini digunakan nilai rata-rata sampel uji pada setiap fase yang mempresentatifkan beberapa data yang bervariasi. Nilai rata-rata pada setiap sampel uji disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai rata-rata pada setiap sampel uji

	Tegangan Tembus (KV)						
Sampel ke-	1	2	3	4	5	6	7
Kondisi Awal	37,46	22,49	17,38	12,44	11,21	10,64	9,56
Pemanasan (70°C)	51,26	44,98	32,67	30,58	27,96	25,26	19,07
Didiamkan 2 hari	35,62	20,21	17,74	12,82	11,29	10,37	9,3

Pada Tabel 4.8 disajikan data nilai rata-rata setiap sampel uji yaitu sampel uji pertama memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 37,46 KV, pemanasan (70°C) 51,26 KV, didiamkan 2 hari 35,62 KV. Sampel uji kedua memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 22,49 KV, pemanasan (70°C) 44,98 KV, didiamkan 2 hari 20,21 KV. Sampel uji ketiga memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 17,38 KV, pemanasan (70°C) 32,67 KV, didiamkan 2 hari 17,74 KV. Sampel uji keempat memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 12,44 KV, pemanasan (70°C) 30,58 KV, didiamkan 2 hari 12,82 KV. Sampel uji kelima memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 11,21 KV, pemanasan (70°C) 27,96 KV, didiamkan 2 hari 11,29 KV. Sampel uji keenam memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 10,64 KV, pemanasan (70°C) 25,26 KV, didiamkan 2 hari 10,37 KV. Sampel uji ketujuh memiliki nilai tegangan tembus pada kondisi awal 9,56 KV, pemanasan (70°C) 19,07 KV, didiamkan 2 hari 9,3 KV. Untuk memperjelas Tabel 4.8 maka dibuat grafik pada Gambar 4.15 yang merupakan perbandingan data setiap sampel uji.



Gambar 4.15 Grafik nilai rata-rata sampel uji

Dari Gambar 4.15 dapat diamati bahwa nilai pada setiap sampel bervariasi, jika diurutkan tinggi ke rendah sampel uji pertama memiliki nilai yang paling tinggi kemudian turun ke sampel uji kedua dan seterusnya sampai pada sampel uji ketujuh. Perbedaan nilai tegangan tembus antara sampel uji pertama sampai pada sampel uji ketujuh karena adanya pengaruh dari kontaminan pada minyak isolasi. Dengan adanya kontaminan pada minyak isolasi dapat mempengaruhi besarnya nilai tegangan tembus minyak. Pada sampel uji pertama adalah minyak murni yang mana memiliki nilai tegangan tembus paling besar, pada minyak murni tidak terdapat kontaminan yang berupa kertas isolasi sehingga proses dan besarnya nilai tegangan tembus sesuai dengan spesifikasi yang terdapat pada datasheet minyak. Pada sampel uji kedua dan sampel uji ketiga memiliki nilai tegangan tembus yang relatif tinggi karena pada kedua sampel uji ini terdapat kontaminan yang berupa kertas isolasi dengan ukuran 4mm x 4mm dan 4mm x 2mm. Pada ukuran kertas isolasi tersebut, ketika dilakukan pengujian medan yang terbentuk disekitar elektroda tidak mampu menarik potongan-potongan kertas tersebut, sehingga kontaminan pada pengujian sampel uji kedua dan sampel uji ketiga hanya sedikit berpengaruh pada besarnya nilai tegangan tembus minyak isolasi. Sedangkan pada pengujian sampel uji keempat, sampel

uji kelima dan sampel uji ketujuh memiliki besar nilai tegangan tembus yang berdekatan. Pada keempat sampel uji ini memiliki ukuran kertas isolasi sebagai kontaminan yaitu 2mm x 2mm, 2mm x 1mm, 1mm x 1mm, dan kertas isolasi yang ditumbuk. Dengan ukuran kertas yang relatif kecil ini, medan magnetik yang terbentuk disekitar elektroda pada waktu pengujian mampu menarik potongan-potongan kertas. Potongan-potongan kertas tersebut sebagian mengikuti arah putar medan magnet pada elektroda sebagian lagi ada yang menempel pada elektroda, potongan kertas yang menempel pada elektroda kemudian bertumpuk sehingga menyebabkan terbentuknya jembatan serat diantara sela elektroda yang menimbulkan tegangan tembus pada pengujian. Ukuran kertas sebagai kontaminan berpengaruh pada waktu terbentuknya jembatan serat pada pengujian, semakin kecil potongan kertas maka waktu terbentuknya jembatan serat yang menyebabkan terjadinya tegangan tembus semakin cepat. Oleh karena itu, ukuran kertas isolasi sebagai kontaminan memiliki pengaruh besar kecilnya tegangan tembus pada minyak isolasi transformator.

Dari Gambar 4.15 dapat diamati juga bahwa besarnya nilai tegangan tembus pada setiap fase pengujian berbeda. Pada fase pengujian pertama dan fase pengujian ketiga memiliki nilai tegangan tembus yang relatif sama, sedangkan pada fase pengujian kedua memiliki nilai tegangan tembus yang paling besar jika dibandingkan dengan fase pengujian lainnya. Fase pengujian pertama memiliki temperatur yang relatif sama dengan fase pengujian ketiga, sehingga nilai tegangan tembus pada fase pengujian pertama dan fase pengujian ketiga juga relatif sama. Sedangkan pada fase kedua memiliki temperatur yang berbeda cukup jauh karena bahan uji dipanaskan hingga mencapai temperatur 70°C. Pada fase pengujian kedua, semua tegangan tembus sampel uji mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pada sampel uji, maka kadar air (*water content*) yang terkandung dalam minyak akan semakin berkurang karena adanya proses penguapan saat minyak dipanaskan. Jumlah kadar air yang terkandung dalam minyak memiliki pengaruh pada proses terjadinya jembatan serat pada minyak. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar air yang terkandung dalam minyak, maka proses pembentukan jembatan serat menjadi lebih mudah sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, jika kadar air yang terkandung pada minyak semakin rendah akibat dari proses pemanasan minyak, maka proses pembentukan jembatan serat

akan semakin sulit sehingga terjadinya tegangan tembus akan semakin lama atau bernilai tinggi.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh kemudian dilakukan analisis serta evaluasi data, maka pada pengujian tentang pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator dengan perubahan temperatur dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai rata-rata tegangan tembus pada sampel uji pertama yaitu minyak murni memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang paling tinggi jika dibandingkan dengan sampel uji lainnya, nilai rata-rata tegangan tembus pada sampel uji pertama 37,46 KV, fase pengujian kedua 51,26 KV, dan fase pengujian ketiga 35,62 KV.
2. Ukuran kontaminan pada minyak isolasi yang berupa kertas isolasi berpengaruh pada terjadinya tegangan tembus, yaitu semakin kecil ukuran kontaminan pada minyak menyebabkan terjadinya tegangan tembus semakin cepat atau bernilai rendah, sebaliknya semakin besar ukuran kontaminan pada minyak menyebabkan terjadinya tegangan tembus semakin lama atau bernilai tinggi.
3. Pada fase pengujian kedua memiliki nilai rata-rata tegangan tembus paling tinggi dibandingkan dengan fase pengujian pertama dan fase pengujian ketiga, pada fase pengujian kedua memiliki nilai rata-rata tegangan tembus sampel uji pertama 51,26 KV, sampel uji kedua 44,98 KV, sampel uji ketiga 32,67 KV, sampel uji keempat 30,58 KV, sampel uji kelima 27,96 KV, sampel uji keenam 25,26 KV, dan sampel uji ketujuh 19,07 KV.
4. Besarnya temperatur minyak isolasi transformator berpengaruh pada terjadinya tegangan tembus, yaitu semakin tinggi temperatur minyak maka kandungan air yang terdapat pada minyak akan semakin berkurang karena mengalami penguapan sehingga menyebabkan terjadinya tegangan tembus semakin lama atau bernilai tinggi, sebaliknya jika pada temperatur yang rendah maka tingginya kandungan air yang terdapat pada minyak akan mempercepat terjadinya tegangan tembus atau bernilai rendah.

5.2 Saran

Agar topik penelitian pada laporan tugas akhir ini lebih sempurna, maka saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Waktu pemanasan pada minyak ditentukan sehingga untuk analisis dan perbandingan data dapat lebih akurat
2. Pada saat pengujian lama waktu untuk menaikkan tegangan sehingga terjadinya tegangan tembus dibuat secara berkala agar data yang diperoleh lebih akurat.
3. Pengujian isolasi minyak dilakukan pada kondisi yang vakum sehingga tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan seperti kontaminan dari luar maupun kelembaban udara sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Martono, J. Juningtyastuti, and A. Syakur, "ANALISIS KARAKTERISTIK DIELEKTRIK MINYAK HIDROLIK SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR UNTUK TRANSFORMATOR DAYA," *Transmisi; Vol 15, No 2 (2013): TRANSMISI*, 2013.
- [2] D. Supriyanto, "ANALISIS KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFU SEBELUM DAN SESUDAH DI PURIFIKASI DENGAN FENOL," Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia.
- [3] D. Nugroho, "KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRAFU," *Media Elektrika, Vol. 3 No. 2, Desember 2010*, 2010.
- [4] B. Y. Husodo and Firmansyah, "ANALISIS VECTOR GROUP PADA HUBUNGAN PARALEL TRANSFORMATOR UNIT GARDU BERGERAK," 2016.
- [5] F. A. Mas'ud, "ANALISIS PENGARUH KENAIKAN TEMPERATUR DAN VARIASI KETEBALAN ISOLASI KERTAS YANG DIRENDAM PADA ISOLASI MINYAK TERHADAP BREAKDOWN VOLTAGE," 2018.
- [6] T. Pardede and F. Murdiya, "Studi Karakteristik Tegangan Tembus DC Polaritas Positif Pada Gas Nitrogen (N_2)," vol. 4, 2017.
- [7] P. A. Nayahannah, "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TERMPERATUR TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL, SINTESIS, DAN NABATI," 2018.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

LAMPIRAN

Datasheet control box DMI 551



TECHNICAL SPECIFICATIONS

AC Measurement

Measurement modes	peak, peak/√2, rms
Voltage range	0 ... 150 V rms
Frequency range	16 % ... 40 Hz ¹ 40 ... 400 Hz ²
Accuracy	¹ ± 1.0% rdg, ± 3 counts ² ± 0.5% rdg, ± 3 counts

DC Measurement

Measurement modes	mean value, ripple
Voltage range	0 ... 7.5 V
Ripple range	0 ... 0.5 V, 50 ... 1000 Hz
Accuracy	± 0.5% rdg, ± 3 counts

Impulse Measurement

Measurement modes	peak value
Voltage range	0 ... 400 V (BNC jack) 0 ... 1600 V (LEMO 4250)
Accuracy	± 1% rdg, ± 3 counts

Power Supply

Line voltage	85 ... 264 V AC
Line frequency	50/60 Hz
Power consumption	30 W

Triggering

Generator gap	manual or automatic
Chopping gap	0 ... 2000 µs
Oscilloscope	-20 ... 2000 µs
Phase synchronisation	0 ... 360°

Interfaces

Remote control	IEEE 488 or RS 232
X-Y recorder	BNC 2 kΩ, 0 – 10 V DC
AC out	BNC 2 kΩ, 0 – 10 V AC

System Configuration

Processor	386 SX, 25 MHz
Monitor	5.2" LCD, 240 x 128 pixels
Keyboard	membrane type, 31 keys

Environmental Conditions

Operating temperature	10 ... 40° C
Humidity range	35 ... 80 % r.h., n.c.

Weight and Dimension

Weight	6.6 kg
W x H x D	450 x 135 x 350 mm

INTERFACES

- 1 Power supply switch
- 2 Impulse inputs
- 3 AC input/output
- 4 DC input, Trigger outs
- 5 Trigger delay
- 6 X-Y recorder output
- 7 Remote control



ORDER INFORMATION

Name	Description	Ordering No.
DMI 551	Digital Measuring Instrument in a 19" desktop housing	2495511
DMI 551 RACK	Digital Measuring Instrument as a 19"/3HU rack version	2495512
DMI AC	Software code for using the AC mode	2482733
DMI DC	Software code for using the DC mode	2479211
DMI IMP	Software code for using the impulse mode	2482743
DMI ZAG	Software code for using the trigger mode (DMI DC required)	2474871
DMI REMOTE	Software code for using the remote control mode	2497431
DMI LEMO	LEMO T adapter for current measurements	0751611
DMI MATCH	Matching resistor 75 Ω for LEMO T adapter	2129470

www.haefely.com

Europe, Asia, South & Central
America, Australia
Haefely Test AG
Birsstrasse 300
4052 Basel
Switzerland
☎ + 41 61 373 4111
☎ + 41 61 373 4912
sales@haefely.com

a brand of

HAEFELY



China (Sales & Service Office)
Haefely Test AG – Beijing Office
8-1-602, Fortune Street
No. 67, Chaoyang Road, Chaoyang District
Beijing, 100025
P. R. China
☎ + 86 10 8578 8099
☎ + 86 10 8578 9908
sales@haefely.com.cn

North America
Hipotronics Inc.
1650 Route 22
PO Box 414
Brewster, NY 10509
USA
☎ + 1 845 279 3644
☎ + 1 845 279 2467
sales@hipotronics.com

Haefely is a subsidiary
of Hubbell Incorporated.

Haefely has a policy of continuous product improvement. Therefore we reserve the right to change design and specification without notice.

LL_DM551_0711_RS – 02

Datasheet transformator PZT 100-0.1



Datasheet high voltage transformer

KIT PZT 100-0.1

KIT 4.0



Name	<i>KIT PZT 100-0.1, High voltage transformer</i>
Used for	High voltage step up
Rated AC voltage	HV: 100 kV (RMS) Primary: 220 V/ 440V Tertiary: 220 V
Rated frequency	50/60 Hz (50...200 Hz possible, 10-49 derated)
Rated current (1h ON, 1h OFF, 4 x day)	At HV: 100 mA Primary: 25 A/ 50 A
Rated power	10 kVA (1h ON, 1h OFF, 4 x day)

SHELL DIALA 52 ZU -

UNINHIBITED ELECTRICAL INSULATING OIL

RECOMMENDED REPLACEMENT FOR SHELL DIALA B

DESIGNED TO MEET CHALLENGES



Shell Diala S2 ZU-I is an uninhibited electrical insulating oil manufactured from highly refined mineral oils. It offers good dielectric properties, good oxidation stability and provides efficient heat transfer even at low temperatures.

Shell Digla S2 ZU-I meets both the established and the new industry copper corrosion tests

PERFORMANCE FEATURES

EXTENDED OIL LIFE

- Shell Diala S2 ZUH offers inherent natural resistance to oil degradation through oxidation.

SYSTEM EFFICIENCY

- The good low temperature properties of the oil ensures proper heat transfer inside the transformer, even from low starting temperatures.

TRANSFORMER PROTECTION

- Shell Diala S2 ZUH is non-corrosive towards copper, with no need for passivation. Shell Diala S2 ZUH meets all relevant tests on copper corrosion, namely the established DIN 51353 (Silver Strip Test) and ASTM D1275, and also the latest more severe tests: IEC 62535 and ASTM D1275B.

APPLICATIONS

TRANSFORMERS

- Electrical insulating oil for grid and industrial transformers.

ELECTRICAL EQUIPMENT

- Components such as rectifiers, circuit breakers and switchgears.

SPECIFICATIONS, APPROVALS AND RECOMMENDATIONS

- IEC: 60296 [2003] Table 2 Transformer Oil (U): uninhibited

STORAGE PRECAUTIONS

- The critical electrical properties of Shell Diala S2 ZU-I are easily compromised by trace contamination with foreign material. Typically encountered contaminants include moisture, particles, fibres and surfactants. Therefore, it is imperative that electrical insulating oils be kept clean and dry.
- It is strongly recommended that storage containers be dedicated for electrical service and include airtight seals. It is further recommended that electrical insulating oils be stored indoors in climate-controlled environments.

TYPICAL PHYSICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTICS

Appearance (IEC 60206)	Clear, free from sediment and suspended matters	Complies
Density (ISO 3675) @ 15°C kg/m ³ @ 20°C kg/m ³	– Max. 895	884 881
Kinematic Viscosity (ISO 3104) @ 40°C mm ² /s @ –30°C mm ² /s	Guaranteed Max. 11.2 (IEC 60206 = Max. 12) Max. 1,800	9.4 940
Flash Point °C (PM) (ISO 2719/ASTM D93)	Min. 135	144
Pour Point °C (ISO 3016)	Max. –40	–57
Neutralisation Value mg KOH/g (IEC 60201-1)	Max. 0,01	<0,01
Corrosive Sulphur (DIN 51533), (IEC 62535) (ASTM D 1275 8)	Not corrosive –	Not corrosive Not corrosive
Breakdown Voltage kV (IEC 60156) Untreated After treatment	Min. 30 Min. 70	>30 >70
Dielectric Dissipation Factor (DDF) @ 90°C (IEC 60247)	Max. 0,005	0,002
Oxidation Stability (164h/120°C) (IEC 61125 C) Total acidity mg KOH/g Sludge %m DDF @ 90°C (IEC 60247)	Max. 1.2 Max. 0.8 Max. 0.5	0.9 0.3 0.1

*** Halaman sengaja dikosongkan ***

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Refky Tri Saputra lahir di Klaten, 09 Februari 1998. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di TK Pertiwi Titang pada tahun 2001 – 2003. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SD N 1 Rejasa pada tahun 2003 – 2009. Setelah itu, penulis menyelesaikan pendidikan di SMP N 1 Prambanan Klaten pada tahun 2009 – 2012. Kemudian di SMA N 2 Klaten pada tahun 2012 – 2015. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan Program Sarjana di bidang Teknik Sistem Tenaga Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa menjalani pendidikan di Perguruan Tinggi, penulis aktif mengikuti beberapa organisasi mahasiswa serta kepanitiaan yang ada di lingkungan kampus.

*** Halaman sengaja dikosongkan ***